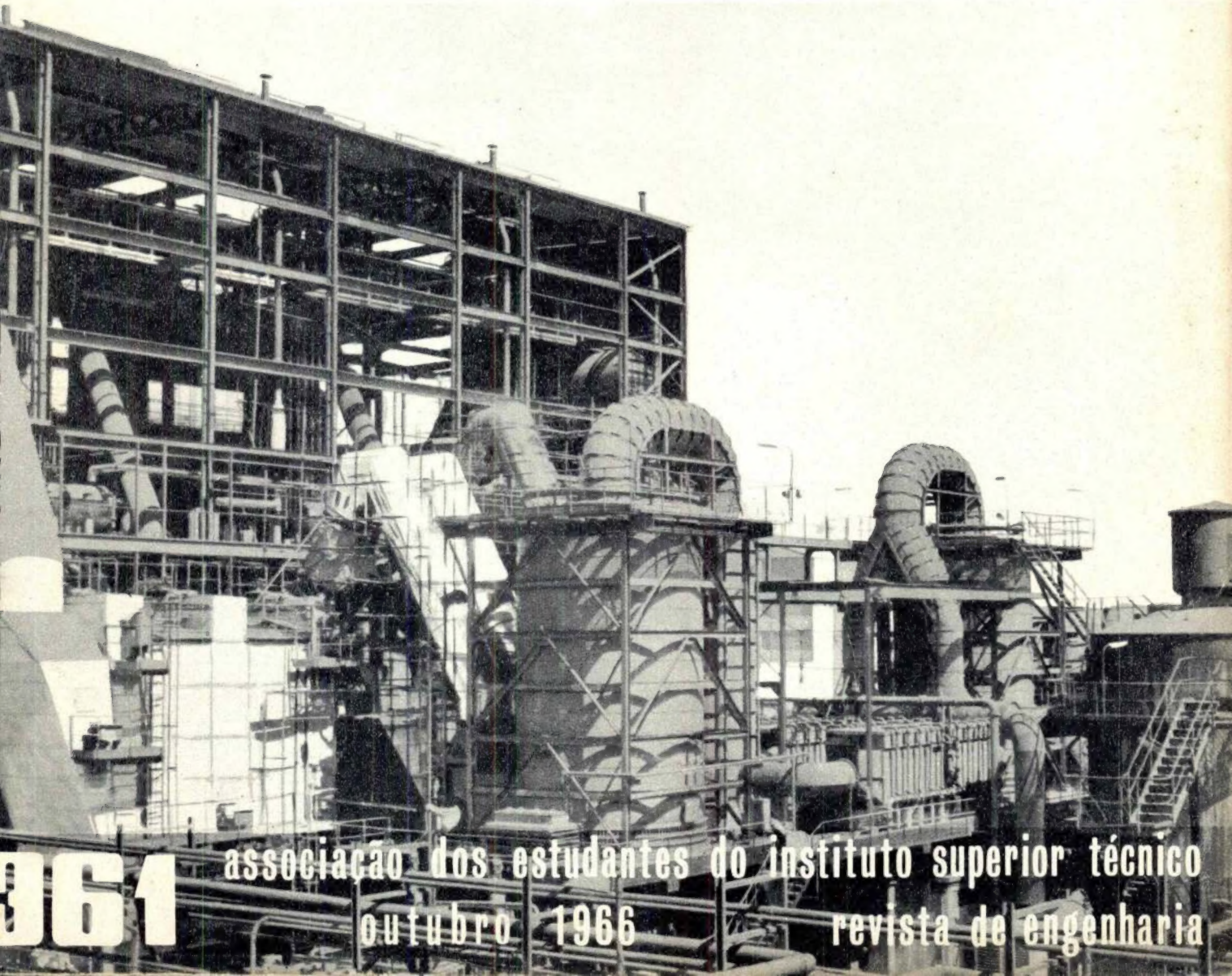
técnica



3 961

associação dos estudantes do instituto superior técnico

outubro 1966

revista de engenharia

CIMENTO SECIL

SECIL

Fábrica:

Outão — Setúbal

Telef. 228824/5

Escritório:

R. do Comércio, 56-3.º

LISBOA 2

Telef. 328201/2/3

confiança para a construção com

materiais novobra

EM BETÃO PRÉ-ESFORÇADO

pavimentos
coberturas
vigas de grande vão
asnas
perfis

SOCIEDADE DE PRÉ-FABRICAÇÃO E OBRAS GERAIS, NOVOBRA, LDA.
AV. EST. UNIDOS DA AMÉRICA, 100, 5.º D. - TEL. 77 48 32/766446 - LISBOA-5

HELIAÇO

VARÕES DE AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA PARA BETÃO ARMADO TIPO A. 40
(«Heliaço» e «SNT 40»)

TENSÕES DE SEGURANÇA

Ra = 2400 kg/cm²
e
Ra = 4000 kg/cm² (SISMOS)

Literatura e Tabelas de Cálculo fornecidas gratuitamente

HELIAÇO, LDA.

R. DE S. JULIÃO, 41, 4.º D. — LISBOA

Tel.: 36 78 17 - 32 37 06 - 36 94 77

BIBLIOTECA DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA LISBOA

OFERTA

técnica

NUMERO 361 * OUTUBRO DE 1966 * ANO XLI * VOLUME XXIX * PUBLICAÇAO MENSAL

Director
Assis Farinha Martins

Administrador
V M. Martins Pinto

Secretário
Victor Coias e Silva

Redactores
J. E. Pinto Ferreira
João M. G Caraça

Editor e Proprietário
Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico

Redacção e Administração
Avenida Rovisco Pais
Telefone 77 54 49
Lisboa 1

★

Assinaturas

	3 N.os	5 N.os	10 N.os
Continente e Ilhas	37$50	60$00	110$00
Ultramar, Brasil e Espanha	—	65$00	120$00
Estrangeiro	—	70$00	130$00

Número avulso — 15$00

★

Os artigos assinados são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

Composto e impresso na Tipografia Jorge Fernandes, Lda. — Rua da Cruz dos Poiais, 103 — Lisboa

SUMÁRIO

1 *MANUEL ROCHA* — **I Congresso da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas — Discurso proferido na sessão inaugural**
I st Congress of the International Society of Rock Mechanics — President's Speech

7 *CAMPOS E MATOS* — **A consideração das solicitações sísmicas no dimensionamento das estruturas**
Consideration of seismic solicitations in the design of structures

19 *ARTUR RAVARA* — **Elementos sobre análise matricial de estruturas reticuladas em regime linear**
Approach to matrix analysis of linear structures

29 *VALENTE DA SILVA* — **Cálculo de caudais, a partir de medições de áreas e velocidades numa secção dum rio, programado com vista à utilização dum ordenador IBM 1620**
Calculation of discharges from the measurements of areas and velocities in a section of a river with a view to the utilization of a IBM 1620 ordinator

37 *PAUL DUPONT* — **Procédé supprimant l'emploi classique des cintres dans la construction des arcs et des voutes de ponts en béton armé ou non armé**
Process suppressing the use of centering in the construction of concrete or reinforced concrete bridge arches

*

6-36 **Notas Informativas**
Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional

41 **Do Mundo Técnico**
Dois aspectos do problema da dessalinização da água do mar — Um novo processo de transmissão de luz — Juntas transparentes de precisão para a construção de aparelhos de vidro — Controlador de temperaturas melhorado

47 **Biblioteca**

CAPA C. U. F. — Aspecto parcial das novas instalações de ácido sulfúrico (contacto V). Média de produção: 500 t/dia.

Índice Alfabético dos nossos anunciantes

A — Pág.

AEG XXI
A. Johnson & Co (Portugal), Ltd. . . XXX
Aguiar e Melo XXXI
Automática Eléctrica XX
Asea Eléctrica Ld.ª V

C

CIDEX IV
Cimento Secil . . . . . 2.ª da capa
Companhia de Cimentos Brancos . . VIII
Companhia Portuguesa de Fornos Eléctricos XXXII
Construções Técnicas XXV

D

Dial XX

E

Electro-Arco, Ltd.ª IV
Empresa de Cimentos de Leiria . . XXXVIII
Empresa Electro Cerâmica XXXIII
Empresa de Produtos Asfálticos . . . X
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Ltd.ª . . . . . 3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos XI
Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações XVI
ESSO VI

F

Fábrica Portugal II
Fanafel XVI
Fundações Franki, Lda. I

G

George Fischer III
Guedes & Almeida, Lda. XXVIII

H

Heliaço . . . . . 2.ª da capa
Hoechst Portuguesa . . . . XXXIII e XXXIV

I

ICI . . . . . XXII e XXIII
Instron XXXIX
Isola XXIV

I — Pág.

Isolux, Ld. XXXVIII
I. S. T. XXVI

J

Jayme da Costa, Lda XVII
Johann Keller . . . . . 2.ª da capa

L

LISNAVE XXIV

M

MAGUE XIII
MEC XXVI
Monteiro Gomes, Lda. XXXVI

N

Novobra, Lda. . . . . 2.ª da capa

Q

Quimicor, S.A.R.L. XIX

R

Roberto Bosch (Portugal), Lda. . . . XVIII
Romar XIV
Rotring XXVIII

S

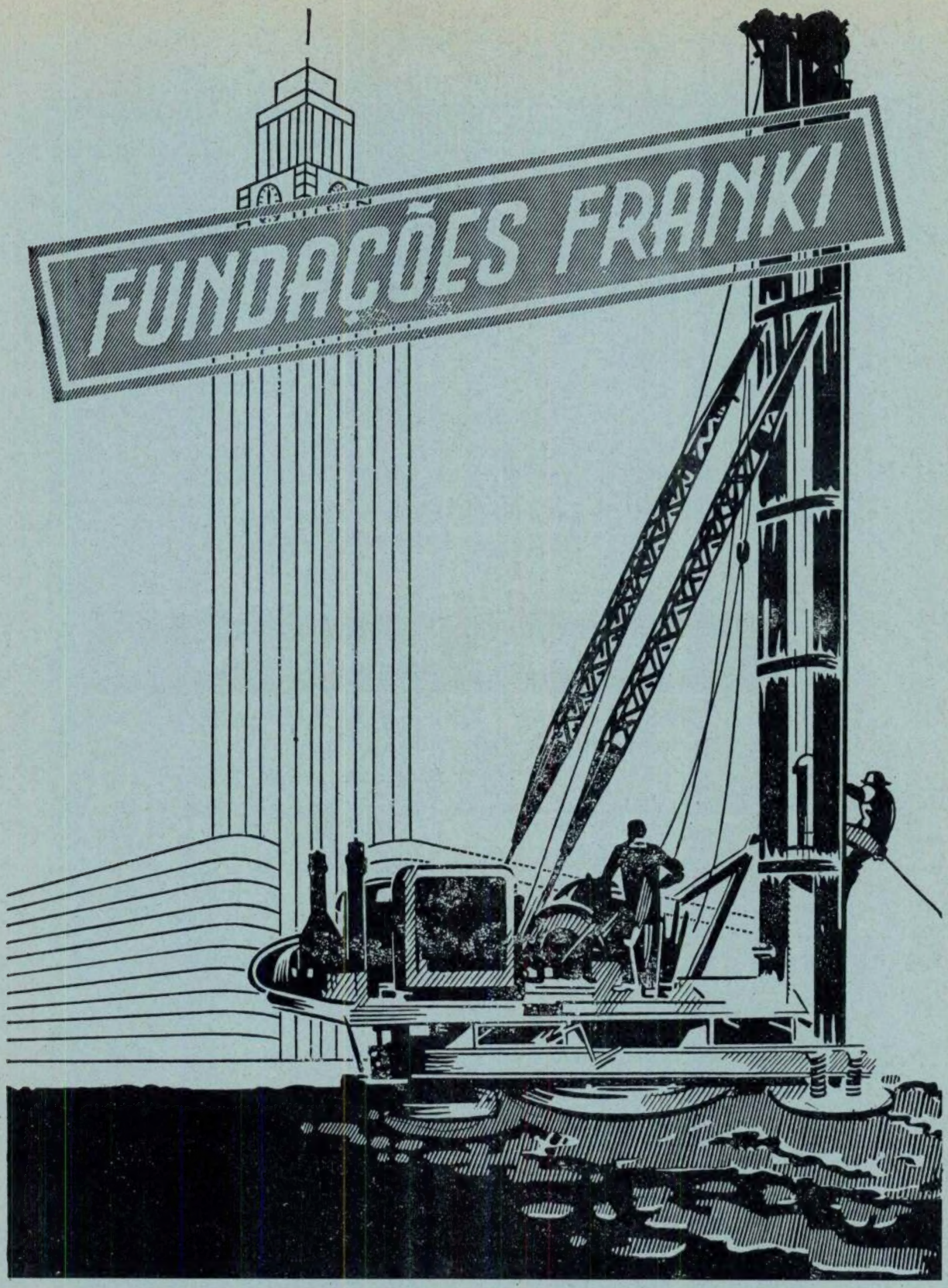
Secheron Portuguesa XXVII
Soc Const Amadeu Gaudêncio . . XXIX
Sociedade de Electricidade Brown Boveri . . . . . 4.ª da capa
Sociedade Industrial Metalúrgica . XXXIV
Soc. Michaelis de Vasconcelos . . . XII
Sociedade Portuguesa Cavan . . . VIII
Sondagens e Fundações A. Cavaco . IV
Sondagens Ródio, Ltd.ª XXXIV
Sopecate XXXVIII
Standard Eléctrica VII

T

Technocommerz GmbH XXXV
TESA IX
Tudor XXVI

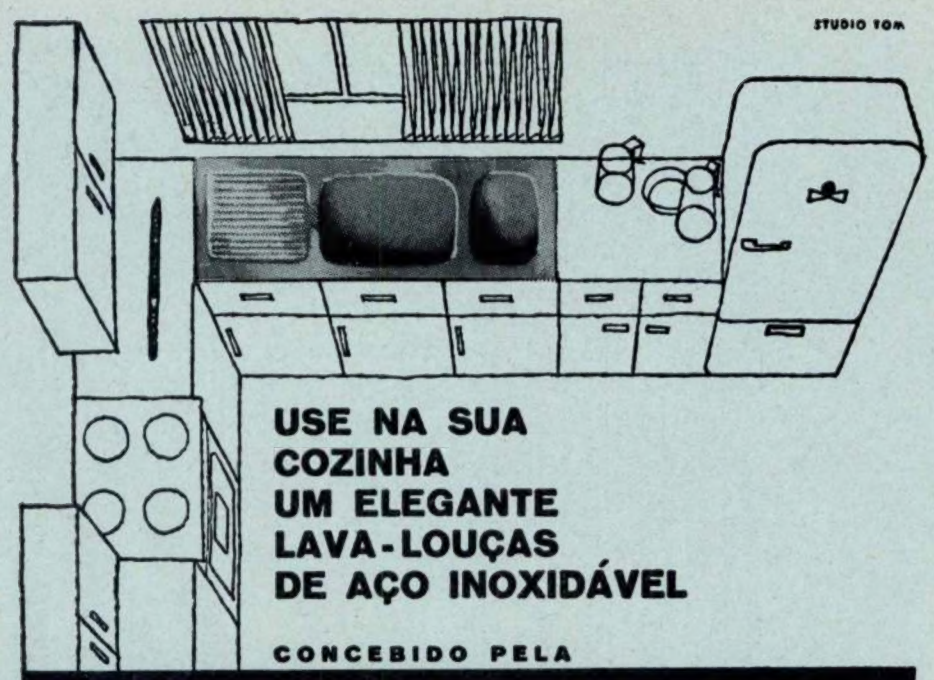
W

Wild Portugal, Lda. XV



FUNDAÇÕES FRANKI, L.DA

Rua Braamcamp n.° 13-3.° — Lisboa — Telef. P.P.C. 73 4112 — End. Teleg. FRANKI

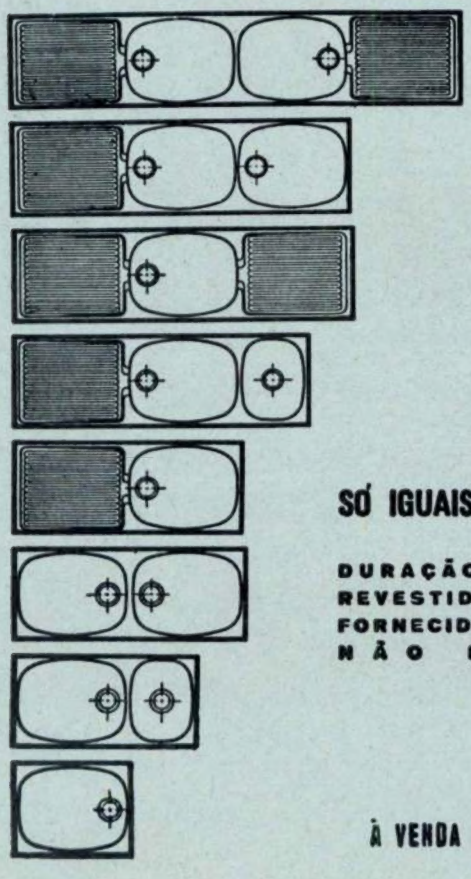


USE NA SUA COZINHA UM ELEGANTE LAVA-LOUÇAS DE AÇO INOXIDÁVEL

CONCEBIDO PELA

FABRICA PORTUGAL

PARA MODERNIZAR OS LARES DE PORTUGAL



APRESENTADOS EM

8 MODELOS

"STANDARD"

EXECUTAM-SE FORA DE SÉRIE, MODELOS ESPECIAIS PARA GRANDES INSTALAÇÕES

SÓ IGUAIS AOS MELHORES ESTRANGEIROS

DURAÇÃO ILIMITADA • HIGIÉNICOS
REVESTIDOS DE ISOLAMENTO ESPECIAL
FORNECIDOS COM SIFÃO DE SEGURANÇA
NÃO PARTEM A LOUÇA

À VENDA NAS BOAS CASAS DA ESPECIALIDADE

GM 1292/5

Georges Fischer Sociedade Anónima, Schaffhouse (Suiça)

Telefone: (053) 5 60 31 / 5 70 31 Telegrammas: Geofischer Telescriptôr: 5 29 15 geofischer schf

Bombas centrífugas «PACIFIC»

Construídas por

Batignolles - Chatillon

Especialmente destinadas para:
- Petróleos
- Indústrias químicas
- Construções navais
- Centrais eléctricas
- Alimentação de caldeiras
- Etc., etc.

Sob as condições de funcionamento seguintes:
- Débitos: 1 m³/h a 10.000 m³/h
- Pressões: altas e baixas
- Temperaturas: −180° C + 500° C
- Líquidos: corrosivos ou não

Para estudos e orçamentos, consultar o representante em Portugal:

CIDEX — Comércio Internacional
e Representações Industriais, Lda.

Av. Casal Ribeiro, 46-2.°/Telef. 73 53 07/LISBOA 1

Pesquisas e captações de água

Sondagens

Rebaixamento de níveis aquíferos

Injecções e consolidações de terrenos

Fundações

Estacas de betão

SONDAGENS E FUNDAÇÕES A. CAVACO, LDA.

R. RODRIGO DA FONSECA, 62, R/C ESQ. — LISBOA-1
- TELEF. 73 35 45 - 5 95 62 - 55 38 73

ELECTRO-ARCO, L.DA

ELÉCTRODOS ✦ POSTOS ✦ ACESSÓRIOS
PARA A SOLDADURA ELÉCTRICA

*

ESCOLAS DE SOLDADURA

MATERIAL APROVADO PELOS
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING
BUREAU VERITAS
GERMANISCHER LLOYD

LISBOA
Rua Silva Carvalho, 239
Tels. 68 36 49 - 68 48 93

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
Venda Nova — Amadora
Tels. 97 06 13 - 97 17 33

PORTO
Rua do Bolhão, 216
Tel. 2 12 77 - 39 44 73

Pára-raios ASEA para um serviço sem cuidados

Garanta à sua rede eléctrica uma protecção adequada contra os raios!

Pára-raios

protegem os transformadores e restante equipamento

reduzem de modo substancial os fusíveis queimados

Há pára-raios ASEA para todas as tensões e encontram-se em toda a parte do mundo em redes de transmissão e distribuição

Para mais detalhes, contacte com a

uma força criadora no domínio da electricidade

ASEA

ELÉCTRICA, LDA.

SEDE EM LISBOA: R. RODRIGUES SAMPAIO, 18, 5.º
FILIAL NO PORTO: RUA DO CAMPO ALEGRE, 144

UMA MANUTENÇÃO DA MAQUINARIA MAIS ECONÓMICA

Se você evitar por todas as formas ao seu alcance as possíveis falhas da sua máquina, resultará muito mais económica a sua manutenção.

O óleo industrial ESSO proporciona uma segurança absoluta no rendimento, reduzindo ao mínimo as avarias.

O óleo industrial ESSO torna possível um menor desgaste nas diversas peças, uma melhor conservação de todo o tipo de máquinas, o que, afinal, pressupõe um aumento da produção e a obtenção de maiores benefícios.

Esso.... PROGR **Esso**.... SUC **Esso**

Esso O SIMBOLO **Esso** REPRESENTA SETENTA E SETE ANOS DE EXPERIÊNCIA MUNDIAL, COM VINTE DE BONS SERVIÇOS EM PORTUGAL

ESSO STANDARD PORTUGUESA (COMPANHIA DE PETROLEOS) S. A. R. L.

Em Lisboa: Rua Filipe Folque, 2 – No Porto: Av. Serpa Pinto, 227-Matosinhos

Teòricamente não hà qualquer risco, mas...

de facto, as possibilidades globais dos intrincados e complexos sistemas electrónicos e electromecânicos dependem do grau de confiança que é possível depositar em cada um dos componentes INDIVIDUAIS utilizados.

Esta essencial fiabilidade está implícita no projecto dos componentes ITT e é garantida pelo rigoroso controlo de qualidade e ensaios realizados em todas as fases de produção.

As constantes pesquisas e investigações realizadas por laboratórios na Europa e nos Estados Unidos da América tornam possível satisfazer as complexas exigências dos nossos clientes em todos os campos da electrónica.

A vasta linha dos produtos ITT inclui: rectificadores de selénio, rectificadores de silício, diodos Zener, tiristores, transistores e diodos, válvulas de imagem, válvulas especiais, condensadores, cristais de quartzo e filtros de cristal, termistores, materiais magnéticos, motores, ventiladores tangenciais, interruptores, relés, componentes para receptores TV e altifalantes.

Para informações adicionais relativas aos componentes ITT consulte a :

STANDARD ELÉCTRICA, s.a.r.l.
Avenida da India
LISBOA 3
Telefone : 638171 Telex : 572

Componentes electrónicos

ITT Standard

66/7P

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 66 61 86 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

CAVAN

SOCIEDADE PORTUGUESA

✸

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS
MOSAICOS E AZULEJOS

COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA
MANILHAS PARA ESGOTOS

✸

RUA D. ESTEFÂNIA, 94-A
TELEF. 47812-50129
LISBOA

Fitas adesivas para todas as aplicações

Estes rolos são apenas uma pequena fracção da nossa gama de fitas adesivas **tesa**.

Temos muitas qualidades diferentes: incolor e a cores, em celofane e PVC, papel e tecido, com ou sem impressão, com massa colante de um ou dos dois lados (a gama de fitas adesivas **tesa** é a mais completa fabricada em Portugal, e em toda a Europa).

No entanto, todas as fitas **tesa** têm uma caracteristica em comum: cada uma foi cuidadosamente estudada e concebida segundo a sua aplicação.

Seja qual for a sua actividade profissional, temos uma fita adesiva própria para racionalizar o seu trabalho.

tesa

tesaband — tesaborde — tesafilm tesafix — tesaflex — tesafort tesakrepp — tesamoll — tesaprint — tesatip, são marcas registadas correspondentes a produtos originais «tesa» de alta qualidade.

BEIERSDORF PORTUGUESA S.A.L.R. / Queluz Secção de Vendas: Lisboa – Praça da Alegria, 58-1.º Tel. 32 69 43, 32 29 57

Celulite

ISOLAMENTO
TÉRMICO DAS
CONSTRUÇÕES

PAVIMENTOS
*
TECTOS
*
PAREDES
*
CÂMARAS
FRIGORÍFICAS
*
ISOLAMENTOS
INDUSTRIAIS

Terraços e pavimentos isolados com CELULITE no edifício da Comp.ª de Seguros Fidelidade — P. das Águas Livres — Lisboa

SETH, LDA. ✦ RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.° ✦ TEL. 73 01 56 — LISBOA

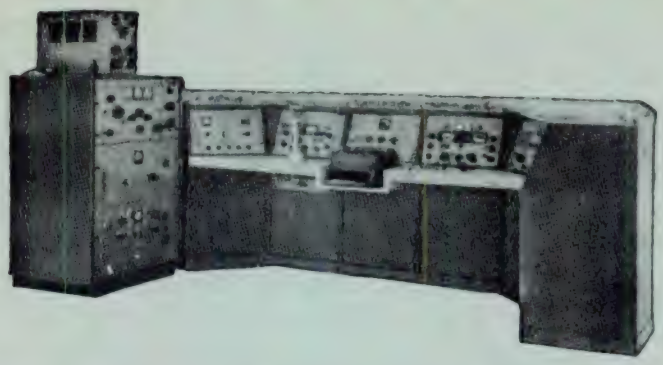
Para impermeabilizar terraços,
paredes, fundações, etc.

COLAGEM DE
TACOS DE MADEIRA

TELEF. 73 0156 TELEG. EPALDA — LISBOA

EMPREZA DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS
IMPERMEABILISADOR
IMEPA
RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.°-LISBOA

FÁBRICA EM SACAVÉM



Comunicações

equipamentos
e sistemas completos

- Cuidadosamente projectados
- Amplamente experimentados
- Completamente integrados

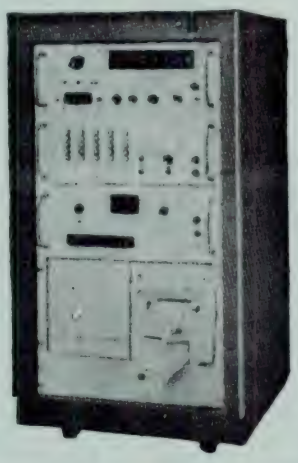
THE TECHNICAL MATERIEL CORPORATION

HEWLETT hp PACKARD

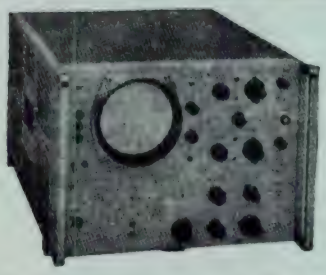
aparelhagem electrónica de medida e registo

Osciloscópios, Oscilógrafos, Voltímetros electrónicos, Geradores de sinal, Contadores electrónicos, Registadores digitais, Fontes de alimentação

Registador digital Dymec



Registador Sanborn

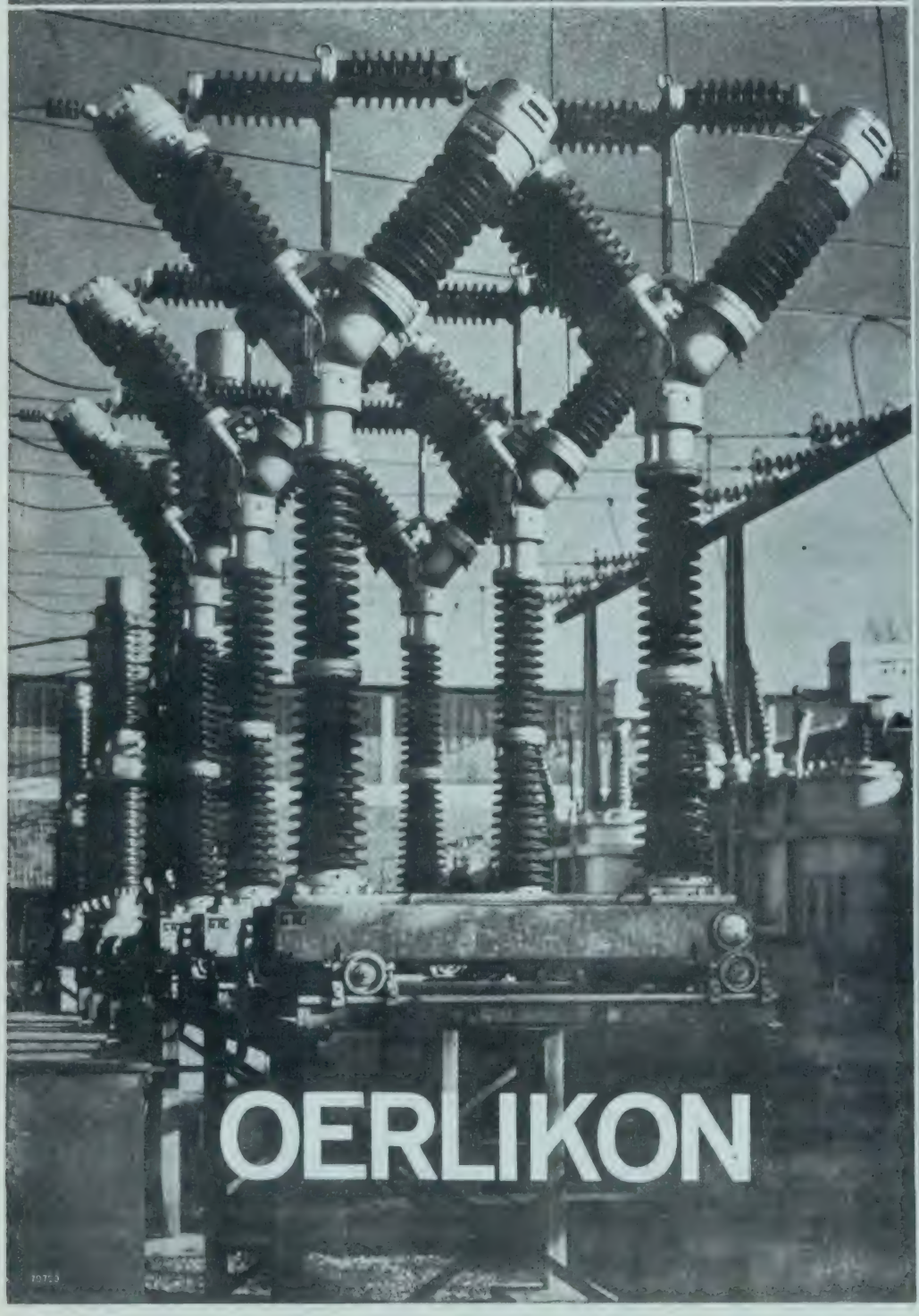


Osciloscópio HP

Contador Electrónico HP

TELECTRA EMPRESA TECNICA DE EQUIPAMENTOS ELECTRICOS, S.A.R.L.

Novo disjuntor «Oerlikon» de pequeno volume de óleo
Campo de tensões: 60 a 500 kV
Corrente de corte: 40 e 60 kA



Tipo F

Duração curta do arco independente da corrente cortada

Corte sem reescorvamento

Insensível aos defeitos quilométrico e evolutivo

Corte múltiplo

Contacto móvel accionado hidráulicamente, sem varetas ou molas

Funcionamento silencioso, reacção dinâmica insignificante

Montagem simples, sem regulações

Ateliers de Construction Oerlikon

Zurich **Suíça**

Representantes para Portugal e Ultramar:
Sociedade
Mich. de Vasconcellos, Lda.
Porto e Lisboa.

técnica

NUMERO 361 * OUTUBRO DE 1966 * ANO XLI * VOL. XXIX * DIRECTOR: ASSIS FARINHA MARTINS

C. D. U. 624.131.25 (063)

I CONGRESSO DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE MECÂNICA DAS ROCHAS *

DISCURSO PROFERIDO NA SESSÃO INAUGURAL

por MANUEL ROCHA
Presidente da Comissão
Organizadora do Congresso

As minhas primeiras palavras são de agradecimento pelo muito honroso patrocínio que V. Ex.ª, Senhor Presidente da República, houve por bem dar ao primeiro Congresso da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas e se ter mesmo dignado presidir à sessão inaugural.

Desejo manifestar a grande satisfação da Comissão Organizadora deste Congresso pelo elevado número de participantes que se deslocaram de 42 países para aqui virem trazer os seus conhecimentos e experiência. Queremos exprimir-vos o nosso profundo agradecimento, em particular aos autores de comunicações, pois é da vossa presença que depende, em primeiro lugar, o êxito desta reunião internacional.

Encontram-se reunidos nesta sala especialistas dos mais variados domínios — mineralogistas, petrólogos, geólogos, tectonofísicos, geofísicos, engenheiros de minas, engenheiros civis, engenheiros do petróleo, etc. — tendo contudo um elo entre si: o interesse pelo novo ramo da mecânica, em gestação, a mecânica das rochas. São eles responsáveis por estudos científicos e realizações tecnológicas da mais alta importância para o progresso dos conhecimentos e para o desenvolvimento económico e o bem estar da Humanidade. Destacarei, entre tantos outros, os estudos dos fenómenos de deformação das rochas, consideradas como agregados de cristais, dos fenómenos do enrugamento das formações rochosas ao longo das idades geológicas, da produção de falhas, do diaclasamento e da xistosidade, dos fenómenos da ocorrência de sismos, e dos fenómenos de alteração e de alterabilidade das rochas; no campo tecnológico, mencionarei a exploração de jazigos minerais a profundidades cada vez maiores, que já hoje ultrapassam 3000 m, a abertura de furos para a exploração de petróleo, com mais de 8000 m de profundidade, a construção de grandes e profundas cavernas para centrais eléctricas, a construção de barragens, cujas alturas estão atingindo 300 m, e que têm muitas vezes de ser fundadas em formações profundamente conturbadas e alteradas, o que levanta responsabilidades das maiores que se podem pôr a um engenheiro, e, finalmente, citarei ainda a abertura de canais, a constituição de reservatórios, a exploração de riquezas minerais, etc. por meio de explosões nucleares subterrâneas.

É toda esta vastíssima e variada gama de problemas que está estimulando, impondo mesmo, o desenvolvimento a ritmo acelerado dos conhecimentos sobre o comportamento mecânico das rochas

(*) Realizado em Lisboa, em Setembro de 1966.

e dos maciços rochosos. No campo da engenharia civil, os graves acidentes com barragens ocorridos nos últimos anos têm contribuído de maneira decisiva para a intensificação dos estudos de mecânica das rochas.

Além disso, o Homem, que há mais de um milhão de anos se tem limitado a viver e a explorar a superfície da crusta terrestre, não sòmente se está lançando na conquista do espaço e do fundo dos oceanos, mas também na exploração do nosso planeta em profundidade, por meio de gigantescas sondagens. E, nesta época em que os sonhos mais ousados de domínio da natureza ràpidamente se tornam realidade, começa mesmo a pensar-se em dispositivos autónomos de perfuração, dispondo de uma tripulação e movidas a energia nuclear, destinados a abrir passagens na Terra a velocidades apreciáveis, isto é, sputniks das profundidades!

Será assim possível responder a tantas interrogações postas desde sempre pelo Homem àcerca da Terra que ele pisa e, talvez, pôr ao seu serviço novas fontes de energia e outras riquezas. Pois bem, a mecânica das rochas é uma das ciências que será chamada a contribuir para mais tal conquista da Natureza.

A mecânica das rochas apresenta-se como disciplina de uma extrema complexidade, quando se compara com as mecânicas de outros materiais, das quais destacarei a mais recentemente constituída, a mecânica dos solos. Essa complexidade resulta de três factores principais. Em primeiro lugar, da natureza complexa das rochas pois que, além de serem em regra agregados de cristais, exibem as mais das vezes, sobretudo junto da superfície da Terra, acentuada anisotropia e heterogeneidade. Em segundo lugar, da dificuldade de ter em consideração no comportamento mecânico dos maciços rochosos a influência das superfícies singulares que os cortam, tais como falhas, diaclases, superfícies de xistosidade, etc., o que obriga muitas vezes a considerar os maciços, especialmente a pequenas profundidades, como agregados de blocos mais ou menos ajustados. Como terceiro factor determinante da complexidade da mecânica das rochas mencionarei a vastidão dos intervalos de variação dos parâmetros fundamentais de que depende o comportamento dos maciços, isto é, o estado de tensão, a temperatura e o tempo. De facto, para poder responder às solicitações dos seus tão diversos utilizadores, a mecânica das rochas tem de considerar desde os estados de tensão de reduzido valor aplicados pelas construções, aos elevadíssimos reinantes às grandes profundidades que interessam à tectonofísica; desde as temperaturas da superfície da Terra àquelas a que se encontram submetidas as formações profundas e que provocam recristalizações, fusões e modificações químicas das rochas; e, finalmente, quanto ao tempo há que considerar desde as idades geológicas aos intervalos de tempo muito curtos em jogo no extracção com explosivos de um maciço rochoso. E ainda mais se extremam os valores dos parâmetros se se considerarem as explosões nucleares subterrâneas nas quais as pressões atingem valores de milhões de quilogramas por centímetro quadrado, comportando-se então os maciços rochosos como fluidos compressíveis, as temperaturas são as mais elevadas jamais obtidas e, quanto ao tempo, há necessidade de considerar intervalos de microssegundos.

Tal como sempre acontece na formação de uma nova disciplina, também a mecânica das rochas está agregando e procurando dar unidade a conhecimentos dispersos que foram sendo obtidos por grupos trabalhando, mais ou menos isoladamente, em problemas postos pelos maciços rochosos, e mesmo a conhecimentos alcançados ao serem perseguidas outras finalidades, mas que interessam à nossa disciplina. Deste modo, não é de estranhar que, ao ter lugar este Congresso em que se procura pela primeira vez cobrir todo o âmbito da mecânica das rochas, se verifique terem já tido lugar muitas reuniões de carácter nacional e internacional devotadas total ou parcialmente ao estudo de problemas da esfera dos nossos intesesses. O seu número, porém, excede o que prevíamos. De facto, uma busca, que não foi exaustiva, mostrou-nos que já se realizaram mais de 70 reuniões dedicadas essencialmente a problemas de mecânica das rochas, das quais um número apreciável ultrapassou o âmbito nacional. Além disso, em inúmeras outras reuniões têm sido abordados problemas de mecânica das rochas, como nos congressos da Comissão Internacional das Grande Barragens, da Sociedade Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, etc.

Entre as reuniões de carácter internacional havidas dedicadas exclusivamente à mecânica das rochas, destacamos os 16 colóquios organizados a partir de 1951 pelo Grupo de Salzburgo, sob a

direcção do Prof. Müller, Presidente da nossa Associação. É-me extremamente grato prestar neste momento a minha mais calorosa homenagem não só ao excepcional mérito da obra científica do Prof. Müller, mas também ao seu espírito pioneiro e impulsionador e à sua capacidade de proselitismo. Do seu pensamento e da sua acção nasceu o que é hoje conhecido na literatura da especialidade por Escola Austríaca, da qual emergiu, em 1962, a Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas.

Quanto às reuniões realizadas até hoje, desejava ainda destacar a série de 8 simpósios sobre mecânica das rochas organizados por escolas de minas de universidades americanas, dos quais o primeiro teve lugar em 1956, na Colorado School of Mines, as quatro International Conference on Strata Control and Rock Mechanics e, finalmente, a International Conference on the State of Stress in the Earth's Crust, que teve lugar em 1963, na Califórnia.

A breve referência que acabamos de fazer às reuniões que tiveram lugar nos últimos 15 anos dá uma ideia da grande importância da actividade que tem sido desenvolvida.

Afigurou-se à Comissão Organizadora deste Congresso que havia interesse em procurar obter uma ideia sobre as actividades de investigação em curso no mundo, no campo da mecânica das rochas. Para isso, foi realizado um inquérito que mostrou existirem, nos 26 países de que foram recebidas respostas, 120 organismos de investigação que ocupam mais de 1200 pessoas. Estes números mostram de maneira bem clara o interesse excepcional que está despertando a mecânica das rochas.

A existência de diversas associações internacionais, além da nossa, interessadas, em maior ou menor grau, na mecânica das rochas impõe que seja dada a maior atenção ao problema da coordenação de actividades. Entre essas associações mencionamos a União Internacional das Ciências Geológicas, a Comissão Internacional das Grandes Barragens, a Sociedade Internacional de Mecânica dos Solos e de Engenharia de Fundações, e o Internationales Büro für Gebirgsmechanik. Não devem ser poupados esforços para conseguir uma estreita coordenação com vista, por um lado, ao mais rápido florescimento da mecânica das rochas e, por outro lado, à eficiência dos esforços de todos os interessados nesta disciplina. Diversos grupos interessados na mecânica das rochas, entre os quais o Agrupamento Português da nossa Sociedade, têm mesmo chamado a atenção para o interesse da criação de um conselho ou federação de associações internacionais que coordenasse as actividades nos domínios da geologia aplicada, da mecânica dos solos e da mecânica das rochas.

Aliás, consideramos que, de um modo geral, as actividades científicas no plano internacional não são coordenadas de maneira satisfatória e que, além disso, o seu desenvolvimento e eficiência são precários. De facto, a colaboração internacional é levada a cabo, direi, em regime de amadorismo, não dispondo a quase totalidade das associações científicas internacionais dos meios financeiros e da estrutura necessários para uma actividade permanente e com o desenvolvimento proporcionado à relevância dos objectivos a atingir. Além disso, a criação das associações científicas internacionais não resulta, em regra, de uma apreciação objectiva da conjuntura do processo do progresso científico, tendo em vista a eficiência da colaboração internacional, mas sim de acções isoladas ou de pequenos grupos, animados de intenções generosas, mas sem estarem em posição de interpretar as necessidades de conjunto nem mesmo se sentirem a tal obrigados. Acresce que a evolução, cada vez mais rápida, dos conhecimentos impunha uma acção permanente de ajustamento dos domínios de actividade das associações às reais necessidades científicas e económicas, donde resultariam frequentes cisões de associações, fusões e extinções.

A nosso ver, cada associação internacional deveria ocupar-se, de maneira sistemática: i) da formulação dos poblemas que em cada momento fossem considerados de maior importância, ii) do encorajamento e coordenação das actividades de investigação, iii) da organização de frequentes reuniões visando objectivos bem definidos, devidamente coordenadas, iv) da difusão dos conhecimentos, recorrendo às numerosas técnicas de que hoje se dispõe, e v) da promoção da efectiva utilização dos conhecimentos, com vista ao progresso e bem estar da Humanidade. Além disso, dada a interpenetração das diversas disciplinas e o carácter, direi, multidimensional do conhecimento da realidade, as associações científicas internacionais deveriam cuidar muito especialmente da coordenação das suas actividades.

A intensificação da colaboração internacional segundo as ambiciosas linhas que acabamos de esboçar exige o que costumamos chamar a profissionalização das associações científicas. Fazemos votos para que não esteja longe a época em que tenha sido atingida plena compreensão dos benefícios que poderiam ser colhidos de uma mais ampla e intensa colaboração e que, em consequência, as associações científicas passem a dispor dos meios necessários, a conceder eventualmente através de órgãos internacionais como a UNESCO. E na base da acção a desenvolver estaria mesmo a própria investigação das condições de eficiência da colaboração internacional, que não foi até hoje, empreendida de maneira sistemática.

No que respeita à mecânica das rochas, a actividade atrás referida de formulação de problemas tem um interesse muito especial, dada a fase de gestação em que ela se encontra e o facto de a nova disciplina estar resultando da convergência de actividades de grupos que buscam a solução de problemas em domínios diferenciados. Consideramos oportuno acentuar que, em qualquer domínio, o ritmo do progresso dos conhecimentos e a eficiência dos esforços desenvolvidos dependem em larga medida da judiciosa escolha dos temas a investigar e, além disso, que a identificação dos problemas e a previsão das probabilidades de êxito e das repercussões da sua solução exigem não só imaginação criadora, mas também uma vasta gama de conhecimentos e uma maturidade que aconselham a mais larga colaboração. Sobretudo na investigação de natureza tecnológica, a tarefa mais delicada é muitas vezes a formulação dos problemas e não a sua resolução.

Consideramos pois aconselhável a constituição de grupos de especialistas, dos mais qualificados, com a incumbência de seleccionar os temas considerados mais promissores para o progresso da mecânica das rochas e das suas aplicações.

No que respeita à tarefa de difusão de conhecimentos afigura-se-me que, no estádio actual da mecânica das rochas, a criação pela nossa Sociedade de um órgão de documentação, a exemplo de outras associações, constituiria um passo de grande importância. Um aspecto da difusão do qual nos poderíamos ocupar, é o da integração dos conhecimentos da mecânica das rochas nos programas do ensino superior. Dada a conhecida dificuldade de rápido ajustamento dos programas ao progresso dos conhecimentos tal acção seria extremamente meritória.

Uma vez instituída a Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas, o Conselho Directivo decidiu, em 1964, que o primeiro congresso da Sociedade tivesse lugar em 1966 e aceitou o convite do Agrupamento Português de Mecânica dos Solos e das Rochas, e do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, para que ele tivesse lugar em Lisboa. Foi então nomeado pelo Conselho um comité, constituído pelos Professores Müller, Habib, Judd, Kujundžić e von Moos, encarregado de aconselhar a nossa Comissão Organizadora do Congresso. Quero neste momento agradecer a valiosa colaboração que nos tem sido prestada.

Este primeiro Congresso constituirá um marco não só na vida da nossa jovem Sociedade, mas também na evolução da mecânica das rochas. De facto, foi possível — graças ao envio de cerca de 3000 convites para participação no Congresso, dos quais 40 dirigidos a associações científicas nacionais e internacionais — assegurar a representação, pessoal e através de comunicações, da quase totalidade dos centros que actualmente se estão ocupando da nova disciplina. Assim, tivemos a satisfação de se terem inscrito cerca de 800 participantes e de 300 acompanhantes, e de receber 241 comunicações, que ocupam as 1500 páginas dos dois primeiros volumes dos anais deste Congresso. Deste modo, pensamos terem sido amplamente alcançados os objectivos que visava o Conselho Directivo da Sociedade quando decidiu que este primeiro Congresso cobrisse todo o vasto domínio da mecânica das rochas e suas aplicações.

Desejava frizar que considero como um êxito o elevado número de participantes pelo facto de se tratar de um primeiro Congresso respeitante a um domínio cultivado por grupos oriundos de diferentes campos de actividade, que assim têm uma oportunidade de se encontrar. Poderão ser auscultados e confrontados os diferentes pontos de vista e tendências, e alcançada uma visão de conjunto do estado actual da mecânica das rochas, em particular dos seus limites, das suas relações com as disciplinas científicas afins e dos serviços que hoje está prestando e daquelas que virá a prestar. Pessoalmente creio que, de futuro, terá maior interesse organizar reuniões sobre temas limitados,

incluidas reuniões destinadas à síntese dos conhecimentos, o que permitirá assegurar a sua plena eficiência e reduzir o número de participantes.

Encontramo-nos aqui reunidos para debater problemas cuja relevância já tive ocasião de salientar. Porém, a colaboração internacional entre cientistas deve ser encarada não sòmente como uma via para acelerar o progresso dos conhecimentos, mas também como uma contribuição, que não considero menos valiosa, para uma melhor compreensão entre os homens. Em especial, pensamos que as vivências proporcionadas pelos contactos pessoais desempenham um papel primordial na destruição das barreiras de diversa natureza que separam os vários grupos humanos, barreiras que resultam, a nosso ver, mais de prejuízos e de recíproca ignorância dos problemas e das condições peculiares de cada grupo do que do conflito de reais interesses. Os meios prodigiosos que a ciência está pondo ao serviço da Humanidade constituem a infraestrutura indispensável para ser banido o enviezamento do conhecimento e da compreensão e poder ser vislumbrada essa unidade da espécie humana há milénios pregada por santos e filósofos.

Devem ser aproveitadas todas as possíveis áreas de entendimento e de convergência de interesses para os homens se irem exercitando na arte do respeito e da compreensão recíprocos. A ciência, pela sua própria natureza universal, constitui uma área previlegiada que deve ser explorada exaustivamente. Além disso, a ciência e a atitude mental que lhe é peculiar, isto é, o espírito científico, estão dando uma contribuição fundamental para a criação na Humanidade de atitudes mentais e de pontos de vista comuns, o que constitui uma condição básica para o Homem construir em conjunto o seu futuro. O culto da ciência serve pois valores que consideramos mesmo mais altos do que o próprio desenvolvimento dos conhecimentos.

Como não podia deixar de ser, dada a complexidade do fenómeno e o ritmo intenso com que ele se processa, há vastas massas de homens, mesmo entre aqueles com maiores responsabilidades na marcha da vida dos povos, que ainda não apreenderam a profunda transformação que se está operando, mantendo-se apegados, por vezes desesperadamente, a concepções e a soluções particularistas dos problemas humanos, as quais são incompatíveis com as presentes condições de vida resultantes do progresso científico. A época é de mutação e não de permanência não só na ciência e na tecnologia, mas também na vida dos povos, o que exige cada vez mais vasta cultura do homem que actua e melhor organização do saber para a sua mais ampla e eficiente exploração.

Compete-nos a todos nós procurar compreender e integrarmo-nos no movimento de transformação e de aproximação em marcha e contribuir para ele com todas as nossas energias.

C. D. U. 621.311.5/91

ELEMENTOS SOBRE A PRODUÇÃO E O CONSUMO DE ENERGIA NA REDE ELÉCTRICA NACIONAL (*)

JULHO

I — Breve nota mensal

As afluências ao conjunto do sistema, verificadas durante o mês de Julho, têm uma probabilidade de serem excedidas da ordem dos 79 %. O coeficiente de produtibilidade hidroeléctrica do mês foi de 0,71.

II — Elementos gerais (GWh)

Acumulados desde 1 de Janeiro

	a) Mensais		Variação
	1965	1966	%
Produção hidráulica (P_h) . . .	195,9	423,6	+ 116
Produção térmica (P_t)	68,8	0,3	— 100
Produção total (P_T)	264,7	423,9	+ 60
Energia recebida de empresas não pertencentes ao RNC (E_r)	0,2	0,6	+ 200
Exportações (Ex)	0,2	0,0	— 100
Importações (I)	93,5	0,0	— 100
Saldo importador (S_I)	+93,3	0,0	— 100
Consumo em bombagem (C_b) . .	0,0	0,0	0
Produção para consumos perman. (P_{cp}) (1) . .	327,6	351,8	+ 7,4
Produção para consumos não perman. (P_{cnp}) . . .	30,6	72,7	+ 138
Total	358,2	424,5	+ 19
Coeficiente de hidraulicidade	0,35	0,71	—

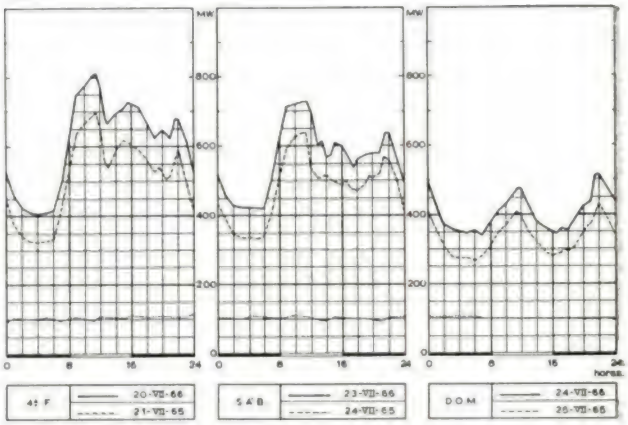
NOTA

(1) A produção para consumos permanentes (P_{cp}) é determinada pela seguinte expressão: $P_{cp} = P_T + E_r + S_i - C_b - P_{cnp}$

III — Diagramas de carga dos dias característicos

			4.ª teira:	
			1965	1966
Produção hidráulica		(P_h) MWh	7563	14969
Produção térmica		(P_t) MWh	2370	0
Produção total		(P_T) MWh	9933	14969
Trocas com Espanha	Export.	(Ex) MWh	0	0
	Import.	(I) MWh	2425	0
Consum em bomb. hidroel.		(C_b) MWh	0	0
Prod. para cons. perm.		(P_{cp}) MWh	11314	12527
Prod. para cons. não perm.		(P_{cnp}) MWh	1044	2442
TOTAL		$P_T + (I-Ex)$ MWh	12358	14969
Características dos diagramas	$P_T + (I-Ex)$	Potência máx. MW	697	814
		Potência mín. MW	325	402
		Utiliz. da ponta horas	17,7	18,4
		Factor de carga	0,74	0,77
	P_{cp}	Potência máx. MW	654	719
		Potência mín. MW	285	298
		Utiliz. da ponta horas	17,3	17,4
		Factor de carga	0,72	0,73

III — Diagramas de carga dos dias característicos



IV — Energia armazenada nas principais albufeiras

Albufeiras:	No fim do mês	
	GWh	% (1)
Alto Rabagão	844,7	86,8
Paradela	208,1	93,5
Venda Nova	122,2	95 5
Salamonde	26,8	97,1
Caniçada	30,0	90,6
Vilar	38,7	41,8
Cabril	272,9	80,4
Castelo do Bode	158,7	97,4
Guilhofrei	5,3	63,9
Lagoa Comprida	7,6 (2)	14,6
Santa Luzia	46,8	76,0
Pracana	8,4	65,1
Póvoa	8,0 (3)	54,8
Total { com A. Rabagão . . .	1778,2	84,3
Total { sem A. Rabagão . . .	933,5	82,2

NOTAS

(1) Coeficiente de enchimento em energia das albufeiras.

(2) Inclui 3,3 GWh armazenados em Vale do Rossim no início do mês e 3,3 GWh no fim do mês.

(3) Inclui 2,7 GWh armazenados no açude do Poio no início do mês e 2,3 GWh no fim do mês.

(*) *Elementos extraídos das estatísticas mensais do Repartidor Nacional de Cargas (R. N. C.). As produções e os consumos das empresas do R. N. C. representam cerca de 94 %, dos totais do País.*

MAGUE

NA SUA QUALIDADE DE
LICENCIADA DA FOSTER WHEELER Co.
TEM O PRAZER DE ANUNCIAR QUE

O maior contracto para fornecimento de caldeiras na história da produção de energia eléctrica acaba de ser firmado com a

FOSTER WHEELER

TRÊS UNIDADES DE 800.000 KILOWATTS CADA
PARA A AMERICAN ELECTRIC POWER

TAMBÉM EM PORTUGAL

A MAGUE SOB LICENÇA FOSTER WHEELER FORNECE
Á EMPRESA TERMOELÉCTRICA PORTUGUESA
PARA A SUA CENTRAL DO CARREGADO

A 1.ª E 2.ª CALDEIRAS DE 400 t/h

AS MAIORES ATÉ AGORA INSTALADAS
EM PORTUGAL

CONSTRUÇÕES METALOMECANICAS MAGUE S.A.R.L.
ALVERCA DO RIBATEJO — PORTUGAL

DEMAG

Aparelhos de elevação DEMAG

PLANIFICAÇÃO EM GRANDE ESCALA

A manutenção representa dispêndio de tempo, de dinheiro e de mão de obra. Em determinados casos as despesas de manutenção são factor decisivo na luta com a concorrência. Dai a necessidade imperiosa de reduzir as despesas de manutenção.

Os diferenciais "DEMAG" correspondem inteiramente às necessidades de altura de elevação, de segurança e de velocidade. Graças à experiência adquirida em dezenas de anos obteve-se uma construção moderna e robusta.

Ha sempre a possibilidade de novas e interessantes aplicações, das quais resulta o aumento sensivel do rendimento das Empresas.

Para vos dar uma ideia mais precisa da utilidade dos diferenciais "DEMAG" os nossos técnicos encontram-se sempre à vossa disposição.

Não desperdice o seu tempo — consulte-nos.

O seu sucesso será também o nosso.

ROMAR
ORGANIZAÇÃO AO SERVIÇO DA INDUSTRIA

LISBOA
Rua da Boa Vista, 81-C - 83-E
Tel. PPC 67 21 61/2/3/4/5

PORTO
Rua Sá da Bandeira, 589
Tel. 2 58 71

LOURENÇO MARQUES
Av. Manuel de Arriaga, 55-1.º
Tel. 5214

LUANDA
Largo da Republica, 29
Tel. 4492

C. D. U. 624.043 [699.841]

A CONSIDERAÇÃO DAS SOLICITAÇÕES SÍSMICAS NO DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS *

por A. DE CAMPOS E MATOS
Prof. da Faculdade de Engenharia
da Universidade do Porto

RESUMO

Ilustra-se, com o exemplo das solicitações sísmicas, o modo de efectuar o dimensionamento de estruturas de aço e de betão armado com base nos regulamentos elaborados pela Comissão de Regulamentos Técnicos do Conselho Superior de Obras Públicas. O Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes adopta o cálculo pelo método dos coeficientes sísmicos, preconizado por Naito, que ignora o comportamento dinâmico das estruturas.

Finalmente, descrevem-se os danos produzidos nas construções da cidade de Skopia, pelo sismo de 26 de Julho de 1963 e diz-se alguma coisa sobre métodos de cálculo, fazendo-se particular referência ao «Método dos factores globais de distribuição».

SYNOPSIS

The design of structures based on the regulations of the Committee for Technical Regulations of the Portuguese Council for Public Works is illustrated with the example of the seismic solicitations. The Regulations of Solicitations in Buildings and Bridges adopts the design by the method of the seismic coefficients, introduced by Naito, in which the dynamic behaviour of the structures is not taken into account.

Finally, the damages produced in the buildings of Skopia by the earthquake of July 26, 1963 are described, and something is said about the methods of calculation, with particulary reference to the «Method of global factors of distribution».

1. A existência de regulamentação técnica densa e actualizada constitui infrastrutura fundamental do desenvolvimento de qualquer país.

Reportando-me em particular ao campo das estruturas, direi que a economia de tempo e a uniformidade de segurança, sem riscos desnecessários para pessoas e bens, nem esbanjamento de materiais constituem os benefícios mais directos que da existência da regulamentação técnica se podem obter. E estes benefícios são, no nosso caso, tanto mais de considerar quanto é certo que, não sendo Portugal rico em recursos materiais, compreende, por imperativos históricos, uma extensão territorial não proporcionada aos seus recursos humanos.

Temos pois que concluir que para nós é indispensável possuir adequada regulamentação técnica. E começamos a possuí-la, mas parece que não está a ser devidamente utilizada. Trata-se de facto grave, sem dúvida, e que exige que, com vista à sua resolução, sejam tomadas rápidas medidas.

As considerações que acabo de fazer justificam a escolha do tema da minha conferência.

2. O estudo da regulamentação técnica relativa a estruturas está a cargo duma comissão que funciona no Conselho Superior das Obras Públicas e que se designa Comissão de Regulamentos Técnicos. Esta comissão está desdobrada em sub-comissões, estando directamente a cargo destas a incumbência da elaboração dos novos regulamentos.

O rendimento actual da actividade das subcomissões pode considerar-se bom, dada a complexidade dos assuntos tratados, o que resulta em grande parte de se ter encontrado um método feliz de trabalho. As subcomissões apreciam «documentos base», elaborados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, documentos que são discutidos e alterados de modo a traduzirem o pensamento da subcomissão.

Foram assim já elaborados os projectos do Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes (RSEP) e do Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios (REAE) que estão em vigor, o primeiro desde Novembro de 1961 e o segundo desde Janeiro de 1965. Actualmente está em fase muito adiantada de estudo o projecto do Regu-

* Conferência proferida no Instituto Superior Técnico, integrada na 3.ª semana de Engenharia Civil.

lamento de Estruturas de Betão Armado para Edifícios (REBAE), que se espera que virá a ser posto em vigor ainda no ano corrente.

3. Os três regulamentos a que me referi em particular formam um conjunto harmónico em que estão definidos as bases de cálculo das estruturas de aço e de betão armado. Constitui objecto desta conferência ilustrar, como o exemplo das solicitações sísmicas, o modo de efectuar o dimensionamento com base nos mesmos regulamentos.

Há, em primeiro lugar, que atender ao prescrito no RSEP. Neste regulamento as solicitações são classificadas do seguinte modo:

Solicitações { permanentes
acidentais { habituais
excepcionais

Esta classificação atende ao carácter aleatório da actuação das solicitações. Assim, as solicitações permanentes, que compreendem o peso dos diversos elementos da construção e o de eventual equipamento fixo, são, como o próprio nome indica, solicitações de actuação permanente.

As solicitações acidentais habituais, que compreendem as sobrecargas e efeitos inerentes (acções dinâmicas, frenagem, lacete e força centrífuga); a acção da neve e do vento habitual; as variações de temperatura, a retracção do betão, a fluência e a relaxação dos materiais; os atritos e as resistências em aparelhos de apoio; as pressões hidráulicas, os impulsos de terras e de outros materiais, etc., são solicitações de actuação acidental cuja probabilidade de actuação é grande, mesmo em relação aos valores fixados no regulamento.

Finalmente, as solicitações acidentais excepcionais, que compreendem ùnicamente a acção do vento excepcional (ciclónico) e a acção dos sismos, são solicitações cuja probabilidade de ocorrência é muito reduzida.

Quanto à maneira como devem ser combinadas as diversas solicitações para definir as hipóteses de cálculo, prescreve o RSEP que haverá sempre que considerar as combinações dos dois tipos seguintes:

Combinações do tipo I: — Solicitações permanentes + solicitações acidentais habituais.

Combinações do tipo II — Solicitações permanentes + solicitações acidentais excepcionais.

Dentre as diversas solicitações acidentais só devem considerar-se numa mesma hipótese de cálculo aquelas cuja actuação simultânea seja verosímil, ficando estabelecido, quanto às combinações do tipo II, que não é de considerar a actuação simultânea do vento excepcional e dos sismos.

Deverão ainda, quanto a estas combinações, ser consideradas como se fossem solicitações permanentes as parcelas das sobrecargas que possuam carácter de permanência. É o caso, por exemplo, do conteúdo de reservatórios ou silos, de sobrecarga devida à maquinaria fixa numa instalação industrial, do peso dos livros numa biblioteca, etc. Nos casos correntes de edifícios para habitação ou análogos, não haverá, em geral, necessidade de considerar estas parcelas das sobrecargas nas combinações do tipo II.

A consideração destes dois tipos de combinações de solicitações tem por objectivo atender ao facto de que a probabilidade de uma estrutura vir a ser submetida, durante a sua vida, às hipóteses mais desfavoráveis de solicitação, é considerável para as combinações do tipo I e muito pequena para as combinações do tipo II. Nestas condições não haverá, lògicamente, necessidade de conferir às estruturas o mesmo grau de segurança em relação aos dois tipos de combinações de solicitações.

Ficam assim claramente estabelecidas as bases de cálculo no que respeita a solicitações. Em relação ao problema de que nos ocupamos em particular — as solicitações sísmicas — podemos resumir tais bases do modo seguinte: quando houver que considerar no cálculo das estruturas solicitações sísmicas, admitir-se-á que essas solicitações actuam simultâneamente com as solicitações permanentes e com as parcelas das sobrecargas que tenham carácter de permanência, constituindo uma combinação de solitações do tipo II.

4. Os territórios portugueses do continente e ilhas adjacentes localizam-se numa das chamadas zonas sísmicas do globo. É bem sabido que os sismos de grande intensidade ocorrem na sua grande maioria em certas regiões bem definidas

— regiões com actividade sísmica —, correspondendo uma de tais regiões e uma larga zona que se estende dos Açores à cordilheira do Himalaia através do Mediterrâneo, da Ásia Menor e da Ásia Central. Esta zona é vulgarmente designada por zona mediterrânea ou alpina.

Encontrando-se es referidos territórios do continente e das ilhas adjacentes localizados nesta zona, seria de esperar que neles se verificasse actividade sísmica. E, infelizmente, a tradição, a história e mesmo a própria vivência de muitos o confirmam.

Nestas condições foram as solicitações sísmicas incluídas no RSEP. Um primeiro problema se pôs que foi o de saber se tais solicitações seriam de considerar em todo o território, pois só a partir de certa intensidade os sismos têm acção destrutiva sobre as estruturas.

Recorda-se que se define a intensidade dos sismos com base no modo por que são sentidos pelas pessoas e pelos seus efeitos sobre construções, independentemente de medidas directas. São usadas escalas de intensidade, sendo uma das mais conhecidas a escala de Mercalli modificada, que considera doze graus crescentes de intensidade — grau I a grau XII — e que por ser bem conhecida nos dispensamos de transcrever aqui.

A observação desta escala mostra-nos que, quanto aos seus efeitos sobre as estruturas, podemos agrupar os sismos do seguinte modo:

graus I a VI — avarias ligeiras nos edifícios de alvenaria de má construção e nulas nos edifícios de boa constração.

graus VII e VIII — avarias ligeiras nos edifícios de alvenaria de boa construção; consideráveis nos de construção corrente, com colapsos parciais; grandes nos de má construção.

graus IX e X — destruição de grande número de edifícios, mesmo de boa construção.

grau XII — destruição total.

Nestas condições justifica-se que só se considerem as acções sísmicas nos locais em que seja de prever que possam ocorrer sismos de grau superior ao grau VI. Havendo ainda uma diferença muito acentuada entre efeitos dos sismos dos graus VII e VIII e dos graus IX e X, justifica-se também que os valores das solicitações sísmicas a considerar sejam diferentes conforme seja de prever que na região possam ocorrer sismos de grau superior ao grau VIII ou não.

Quanto aos graus XI e XII alguma coisa se dirá mais adiante.

Os estudos efectuados pela Comissão que elaborou o Regulamento de Segurança das Construções contra os Sismos, tendo em consideração a actividade sísmica das diferentes regiões do continente e das ilhas adjacentes — frequência e intensidade dos sismos registados e número de epicentros localizados — e ainda a sua natureza geológica, levaram a considerar o território do continente e das ilhas adjacentes dividido em três zonas, Zona A, Zona B e Zona C, respectivamente de forte, médio e fraco risco sísmico.

Na zona C não há que considerar as solicitações sísmicas; na zona B consideram-se solicitações de valores moderados e na zona A solicitações de valores mais elevados.

5. A questão que a seguir se põe é a de saber de que modo devem ser introduzidas no cálculo as solicitações sísmicas.

Os sismos, que podem ser produzidos pela rotura de camadas profundas de rochas, por abatimentos ou por fenómenos vulcânicos, não são mais que movimentos oscilatórios da crusta terrestre, que se manifestam à superfície por movimentos do terreno.

Do ponto em que tem origem o sismo — o foco ou hipocentro — propagam-se em todas as direcções ondas sísmicas profundas que, quando atingem a superfície dão origem a novo movimento oscilatório de propagação superficial. As ondas de primeiro tipo — vibração de massa — podem ser longitudinais e transversais e as do segundo tipo — vibração superficial — podem ser também de duas naturezas diferentes, a que estão associados os nomes de Lord Rayleigh e de Love. À superfície, e à medida que nos afastamos do epicentro (ponto da superfície cuja vertical contém o foco), tornam-se preponderantes as ondas superficiais. Os deslocamentos dos pontos da superfície têm componentes horizontais e verticais, mas, com o aumento da distância ao epicentro, as componentes horizontais tornam-se preponderantes.

O fenómeno esquemàticamente apresentado é complicado por reflexões, refracções e interferências das diversas ondas sísmicas, sendo na realidade tão complexo que alguns autores têm

sugerido que deve ser estudado por métodos estatísticos, como se se tratasse de fenómeno puramente aleatório.

Para efeito das aplicações práticas há pois necessidade de obter um processo simples de introduzir no dimensionamento das estruturas as acções sísmicas.

6. Há cerca de meio século, Naito, um técnico japonês, começou a considerar no cálculo das estruturas que projectava forças horizontais iguais a uma fracção do peso de cada elemento da construção. Os seus edifícios suportaram satisfatòriamente o sismo de 1923 de Tóquio, enquanto que muitos edifícios de construção recente sofreram grandes avarias e mesmo destruição.

O método de Naito tem uma base teórica clara: parte da hipótese de que as acelerações da superfície do solo são transmitidas integral e instantâneamente a todos os elementos da estrutura, pelo que em cada elemento de massa dm se criará uma força de inércia

$d\bar{F} = \bar{a}\, dm$, sendo $\bar{a}$ a aceleração sísmica.

Já vimos que à medida que nos afastamos do epicentro a componente horizontal da aceleração vai-se tornando preponderante. Por outro lado, como todas as construções têm que suportar forças verticais, o facto de terem que suportar acidentalmente uma solicitação em que tais forças são ligeiramente agravadas não tem consequências para a estrutura. Por estas razões justifica-se que no cálculo se considerem ùnicamente as componentes horizontais das forças $d\bar{F}$.

Teremos pois:

$$d\bar{H} = \bar{a}_H \cdot dm$$

ou, como $dm = \frac{d\bar{p}}{\bar{g}}$, em que $\bar{g}$ é aceleração da gravidade,

$$d\bar{H} = \frac{\bar{a}_H}{\bar{g}} \cdot d\bar{p}, \text{ que podemos escrever}$$

$d\bar{H} = c.\ d\bar{p}$, sendo $c = \frac{\bar{a}_H}{\bar{g}}$ um coeficiente sem dimensões, designado coeficiente sísmico. Este coeficiente não é pois mais que o quociente da componente horizontal da aceleração sísmica pela aceleração da gravidade.

No método de Naito ignora-se o comportamento dinâmico das estruturas e isso constitui a sua maior vantagem para as aplicações práticas. Os resultados a que conduz, em geral do lado da segurança, podem considerar-se satisfatórios para estruturas correntes de edifícios e análogos. Por isso a generalização do seu emprego foi rápida, sendo implìcitamente adoptado em pràticamente todos os regulamentos de segurança das construções contra os sismos. Em construções muito altas ou de elevado período de vibração pode justificar-se, no entanto, estudo com base no comportamento dinâmico da estrutura.

7. Para a fixação dos valores dos coeficientes sísmicos a considerar no dimensionamento das estruturas, haverá ainda que definir o grau de segurança que deve ser exigido a uma construção em caso de sismo.

Pode ser-se levado a supôr que será desejável que as construções resistam em perfeitas condições à acção de qualquer sismo. Mas, mesmo admitindo que será possível projectá-las em tais condições, o seu custo seria proíbitivo. Temos pois que nos contentar com objectivo mais modesto, objectivo que, quanto a nós, pode ser enunciado do modo que segue

a) — Para os sismos de pequena intensidade, de longe os de maior frequência, sismos do grau I ao grau IV da escala de Mercalli moficada, cuja probabilidade de ocorrência esperada durante a vida da construção é, nas regiões sísmicas, de um número apreciável de vezes e a que correspondem acelerações horizontais máximas de cerca de 0,1 m/s2 ou um coeficiente sísmico igual a 0,01, a estrutura deve manter-se em regime elástico e as avarias (de revestimentos, etc.) que se verifiquem devem ser de fácil e económica reparação.

b) — Para os sismos de maior intensidade, cuja probabilidade de ocorrência é da ordem de uma vez na vida da construção, sismos de graus VII/VIII ou IX/X, conforme as regiões, e a que correspondem acelerações horizontais máximas de 0,5 ou 2,50 m/s2 ou coeficientes sísmicos de 0,05 ou 0,25, a estrutura embora podendo sofrer deformações permanentes importantes e avarias de certo vulto, deve manter-se estável e susceptível de reparação.

c) — Para sismos catastróficos, cuja probabilidade de ocorrência é muitíssimo pequena e sem-

pre estendida a áreas muito limitadas, sismos de graus XI e XII, e a que correspondem acelerações horizontais que podem ultrapassar 5m/s2, ou um coeficiente sísmico de 0,50, a estrutura, embora sofrendo danos irreparáveis, não deve ruir completamente.

As condições postas nas alíneas *a*) e *b*) são susceptíveis de cálculo. A condição da alínea *c*), que visa poupar as vidas das pessoas que estejam dentro da construção, depende mais da concepção geral da estrutura e dos materiais utilizados. Enquanto que para as duas primeiras condições é possível um cálculo estático, a resistência no último caso depende fundamentalmente da energia necessária para levar a estrutura a ruir completamente.

Em qualquer dos casos tem grande importância o tipo de construção, em particular as ligações entre os diversos elementos e por isso, além do cálculo sísmico, não deve esquecer-se a «pormenorização anti-sísmica».

São particularmente elucidativos neste aspecto os resultados do comportamento das construções quando sofrem a acção dum sismo. Por isso faremos no final deste trabalho uma descrição dos danos produzidos nas construções da cidade de Skopia pelo sismo de 26 de Julho de 1963.

Em relação ao que se estipulou na alínea a) deve notar-se o seguinte: como o coeficiente sísmico é da ordem de 0,01, as forças horizontais produzidas nas construções têm valores de um por cento do peso de cada elemento, podendo em regra, as construções bem executadas suportar sem inconvenientes forças desta grandeza. Por outro lado, a acção do vento dá origem, em geral, a forças horizontais superiores. Não há pois necessidade, como já atrás se disse, de considerar no dimensionamento das estruturas os efeitos de sismos de graus I a VI.

8. O primeiro regulamento português que estabeleceu normas nesta matéria foi o Regulamento de Segurança das Construções contra os Sismos, preconizando o cálculo pelo método dos coeficientes sísmicos. Posteriormente, o Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes manteve o princípio alterando no entanto os valores dos coeficientes.

De acordo com estes regulamentos as acções sísmicas sobre construções são assimiladas a forças estáticas horizontais, podendo actuar em qualquer direcção e sentido. Para calcular estas forças há que fixar a grandeza do coeficiente sísmico. As acelerações medidas durante os sismos podem, como já atrás se mostrou, ser muito elevadas e conduzir, para os graus IX e X, a coeficientes da ordem de 0,25. No entanto, o facto de as estruturas apresentarem, em geral, uma reserva de resistência que não é considerada no cálculo e ainda a reduzida probabilidade de ocorrência dum sismo destrutivo durante a vida da construção levam a admitir valores consideràvelmente menores.

Ao fixar os valores dos coeficientes sísmicos têm sido seguidas duas orientações diferentes: ou fixar valores muito moderados, aceitando também aumentos moderados das tensões de segurança, ou o contrário.

O RSEP foi estruturado com base na orientação indicada em segundo lugar. Efectivamente, a classificação das solicitações e a consideração dos dois tipos de combinações teve como objectivo fundamental atender ao facto de ser muito diversa a probabilidade de vir uma estrutura a ser sujeita, durante a sua vida, a cada um dos tipos de combinações. E, como corolário deste facto, somos levados a exigir seguranças diferentes para cada tipo de combinações.

Os coeficientes sísmicos do RSEP são pois elevados, mas, em contrapartida, no dimensionamento das estruturas para as combinações em que entram as solicitações sísmicas, o grau de segurança exigido é menor. É com efeito mais económico projectar as estruturas admitindo que possam sofrer avarias ligeiras em caso dum sismo de grande intensidade e aceitar ter que as reparar nessa hipótese, do que conferir-lhes desde o início resistência suficiente para terem comportamento satisfatório mesmo em caso de sismo de grau elevado.

9. O tipo de estrutura e a natureza do material de que a mesma é constituída têm grande importância no seu comportamento em caso de sismo. Parece-nos por isso vantajoso dizer, embora de modo muito geral, alguma coisa sobre o comportamento das diferentes estruturas em relação às solicitações produzidas pelos sismos.

.1 *Estruturas com paredes resistentes de alvenaria.*

O comportamento deste tipo de estruturas é reconhecidamente mau. A razão principal de tal

comportamento está no facto de, durante os sismos, se poderem verificar deslocamentos relativos entre pontos de construção que atingem com frequência 10 a 20 cm, deslocamentos que as paredes de alvenaria não podem suportar sem se desorganizarem. E, se forem estas paredes os únicos elementos verticais resistentes, dar-se-á a derrocada total da construção.

Deve notar-se que o emprego de lajes de betão armado com elementos pré-fabricados ou não, não associados a elementos verticais de travamento, não melhora a situação. Pelo contrário, pelo seu elevado peso, aceleram a derrocada e podem causar numerosas vítimas. Melhor será, neste tipo de construções, empregar pavimentos de madeira.

Para assegurar um comportamento satisfatório às estruturas com paredes resistentes de alvenaria é pois necessário que existam simultâneamente elementos de travamento horizontais e verticais. Constituía uma solução deste tipo a «gaiola» de madeira que foi de emprego corrente na cidade de Lisboa.

Actualmente é com o emprego do betão armado que se obtém a melhor solução para os elementos de travamento. No plano horizontal pode obter-se o travamento, quer através dos pavimentos, quer por meio de cintas, se a estrutura dos pavimentos for de madeira. Na vertical os elementos de travamento deverão ser constituídos por montantes convenientemente localizados. Nos artigos 20.º e 21.º do Regulamento de Segurança das Construções contra os Sismos encontram-se disposições a esta matéria.

.2 *Estruturas de aço.*

É pouco corrente entre nós a construção de edifícios com estruturas de aço. Referimo-nos a edifícios com estruturas completas de aço e não a edifícios em que parte da estrutura — por exemplo a estrutura da cobertura — é de aço.

As estruturas de aço são as que melhores condições apresentam para a resistência aos sismos. Efectivamente, sendo leves, resistindo o aço igualmente à tracção e compressão, tendo os linteis e os pilares das estruturas de aço em geral secção constante e sendo fácil realizar ligações eficientes, encontram-se estas estruturas, mesmo quando não são projectadas para acções sísmicas, em boas condições para as suportarem.

Acrescenta-se que a grande capacidade de deformação do aço antes da rotura confere às estruturas deste material uma grande resistência ao colapso completo.

.3 *Estruturas de betão armado.*

As estruturas de betão armado, salvo por serem mais pesadas, se forem convenientemente estudadas, tem comportamento que não se afasta muito do das de aço.

Práticas correntes podem, no entanto, enfraquecer consideràvelmente a resistência aos sismos destas estruturas. Referimo-nos em particular à deficiente ligação entre os pilares e as vigas, nos nós, e à supressão de armaduras, nas vigas, em zonas em que para as solicitações verticais não são necessárias.

.4 *Estruturas de betão pré-esforçado.*

O betão pré-esforçado tem sido empregado em edifícios principalmente em estruturas parciais, em regra mal ligadas ao conjunto.

Este facto, associado à circunstância de, em geral, se tratar de estruturas de funcionamento muito especializado, leva-nos à conclusão de que não é prudente atribuir às construções em que existam elementos estruturais importantes de betão pré-esforçado e que não tenham sido dimensionadas para acções sísmicas, uma reserva grande de resistência a estas secções.

Isto não quer dizer, no entanto, que não possam projectar-se estruturas de betão pré-esforçado perfeitamente eficientes na resistência aos sismos.

10. Na madrugada do dia 26 de Julho de 1963 a cidade jugoslava de Skopia foi sacudida por um sismo que, ainda que não tivesse atingido um grau extremamente elevado, provocou numerosas destruições. Parece-nos elucidativo dar, embora resumidamente, uma ideia geral do modo como se comportaram as construções da cidade sob a acção deste sismo (*).

Existiam em Skopia, antes do sismo, 35 600

(*) — De acordo com o relatório do Prof. Sozen, publicado no número 15, volume 3, da revista do Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

unidades habitacionais que totalizavam uma área de pavimentos igual a 1 800 000 m².

Foi o seguinte o balanço global das destruições verificadas:

	Em percentagem do número de unidades	Em percentagem da área de pavimentos
Construções completamente destruídas	8,5 %	7 %
Construções com danos importantes (para demolir) . . .	34 %	30 %
Construções com danos médios (susceptíveis de reparação) .	36 %	40 %
Construções com danos ligeiros	19 %	20 %
Construções sem danos	2,5 %	3 %

Mais de 40 % dos edifícios não resistiram ao sismo cuja intensidade, no entanto, foi só do grau I X. Se todos os edifícios tivessem sido construídos de acordo com a actual regulamentação portuguesa, os danos teriam sido ligeiros.

Quanto aos danos verificados em relação à natureza das construções, o balanço foi o seguinte:

.1 *Construções antigas de adobe, no máximo com rés-do-chão e andar e geralmente com reforços de madeira.*

Estas construções sofreram danos muito importantes, independentemente da sua localização. As derrocadas não deram, porém, lugar a muitas vítimas por terem as construções pavimentos e coberturas leves.

.2 *Construções novas de alvenaria.*

Existiam em Skopia numerosos edifícios novos, de alvenaria, no máximo com cinco pisos, com pavimentos de betão armado e paredes resistentes de tijolo de 25 cm de espessura, com numerosos rasgamentos.

No que respeita a vítimas foram estas construções as principais responsáveis pela tragédia. As lajes, muito pesadas, constrastavam com a pequena espessura das paredes, cuja resistência era ainda diminuída pela existência de muitas janelas e pelo emprego de argamassa de pequena resistência.

Êste é um tipo de construção que tem sido usado em toda a Europa no após guerra, com o objectivo de resolver o problema da habitação.

O que aconteceu em Skopia constitui um aviso a que será criminoso não prestar atenção.

.3 *Construções mistas, com pilares de betão armado e, em algumas zonas, paredes resistentes de alvenaria.*

Em alguns edifícios de Skopia com estrutura de betão armado, as caixas de escadas e de elevadores eram de alvenaria e, com o objectivo de reduzir o custo da construção, foram aproveitadas como elementos de suporte. Em várias construções deste tipo verificou-se a destruição da zona de alvenaria e das zonas dos pavimentos que nela apoiavam, mantendo-se, com avarias ligeiras, a parte restante dos edifícios em que a estrutura era toda de betão armado.

O mau comportamento destas construções mistas deve-se ao facto de serem muito mais deformáveis os pilares de betão armado que as estruturas celulares, embora de alvenaria. Nestas condições, foi a zona de alvenaria que recebeu, pràticamente, a totalidade do impacto inicial, donde resultou a desorganização das paredes e, em consequência disso, o colapso da parte do edifício que nelas apoiava.

.4 *Edifícios com estrutura de betão armado.*

Embora as construções deste tipo não tivessem sido projectadas para solicitações sísmicas, o seu comportamento foi surpreendentemente bom, ainda que não uniforme. É de assinalar que embora se tivesse registado um caso de colapso completo e alguns de avarias não susceptíveis de reparação, estes casos, não deram lugar a perda de vidas, o que é notável se atendermos a que existiam cerca de 500 edifícios nestas condições.

Tem particular interesse registar os tipos principais de avarias verificadas nestas construções:

.41 *Resistência do 1.º andar.*

Em muitos edifícios de Skopia, como de resto acontece nas zonas comerciais de todas as cidades, os edifícios modernos de betão armado tinham no primeiro piso uma compartimentação muito menos densa que nos restantes e pé direito

maior. Daqui resultava, a este nível, uma resistência às acções horizontais muito menor do que nos restantes. Este facto foi posto em evidência pelo sismo, pois vários edifícios nestas condições sofreram avarias importantes nos pilares do primeiro piso, avarias que os tornaram inaproveitáveis, embora nos restantes pisos poucos danos tivessem sofrido.

Do exposto não deve concluir-se que o tipo de construção em referência deve ser posto de parte: o que é necessário é que o dimensionamento dos pilares no primeiro piso seja feito de acordo com as condições reais de funcionamento dinâmico do edifício, aliás susceptíveis de se enquadrar num esquema simples.

.42 *Avarias devidas a movimentos de torção.*

Ainda que em pequeno número, registaram-se casos de avarias desta natureza em edifícios de estrutura de betão armado com núcleos de maior rigidez dispostos em planta em posição acentuadamente assimétrica.

.43 *Choques de edifícios.*

Embora não se tivesse verificado pròpriamente choques de edifícios, devido ao facto de estarem os edifícios altos distribuídos e isolados, verificaram-se choques entre partes do mesmo edifício, separadas por juntas de dilatação, em casos em que os corpos em que o edifício ficava dividido pelas juntas eram de dimensões muito diferentes.

.44 *Interacção com elementos não estruturais.*

Foi esta a causa mais comum de danos em pilares. Os casos mais característicos foram os correspondentes a pilares de fachada travados em parte da sua altura pelos supeitos das janelas.

Pilares nestas condições são muito menos deformáveis que os pilares não travados, pelo que não podem acompanhar sem avarias o movimento horizontal da estrutura.

.45 *Ligações entre pilares e vigas.*

Estas ligações são fundamentais na resistência das estruturas porticadas às forças horizontais. É com efeito, nos nós destas estruturas que se verificam os máximos momentos e as máximas forças cortantes.

Verificaram-se em Skopia numerosas avarias por deficiência e mau traçado das armaduras nas zonas de ligação entre pilares e vigas e ainda, também nas mesmas zonas, por defeitos de betonagem (segregação do betão).

Acresce que os nós são ainda enfraquecidos, por ser aí que, em geral, se fazem as emendas dos varões, prática que deve ser banida. Há conveniência em cintar as cabeças e as bases dos pilares para assegurar maior capacidade de deformação de betão.

.46 *Deficiência de armaduras em colunas.*

Em Skopia, na maior parte dos casos, empregavam-se nos pilares das estruturas de betão armado percentagens de armadura muito baixas, em regra inferiores a 0,5 %. Deste facto resultava terem estas estruturas uma reserva de resistência às acções horizontais muito reduzida e por isso se verificaram numerosas avarias.

.47 *Deficiência de armaduras em vigas.*

As avarias devidas a deficiências das armaduras de vigas corresponderam, na sua grande maioria, a:

a) falta de amarração ou de continuidade da armadura inferior na zona dos nós;
b) interrupção completa das armaduras na parte central dos vãos e
c) falta de estribos.

.48 *Escadas.*

As escadas de betão armado, pela sua grande rigidez, contribuem para a resistência dos edifícios aos sismos, mas necessitam de ser convenientemente armadas para manterem um funcionamento eficiente.

Em Skopia, pràticamente todas as escadas de betão armado sofreram avarias. Não deve, porém, concluir-se daí que o seu comportamento foi mau. Pelo contrário, as escadas contribuiram fortemente para a resistência dos edifícios, mas, por serem pouco deformáveis, não suportaram sem danos importantes os grandes movimentos das estruturas a que estavam ligadas.

.49 *Paredes de betão armado.*

As paredes de betão tiveram, em todos os casos, comportamento muito satisfatório.

O novo Nível automático de engenheiro

WILD NAK 2

com círculo horizontal

WILD
HEERBRUGG

Para nivelamentos de média e grande precisão; com micrómetro de lâmina de faces plano-paralelas para nivelamentos de grande precisão.

Erro médio para 1 Km de nivelamento duplo: ± 1,5 mm

Erro médio para 1 Km de nivelamento duplo com micrómetro: ± 0,4 mm

Luneta de 30 × de aumento com imagem direita de observação

Solicitem catálogo ou demonstração aos representantes exclusivos

WILD PORTUGAL, LDA.

PRAÇA DAS ÁGUAS LIVRES, 8
LISBOA - 2 — TELEFONE 68 11 27

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS

SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEF.: 52093-52094
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

FELTROS, FILTROS E TECIDOS INDUSTRIAIS PARA TODOS OS FINS:

EM PEÇAS, PANOS, MANGAS OU SACOS,
DE QUALQUER FIBRA

PASTA PARA PAPEL
PAPEL
FIBROCIMENTO
CURTUMES
FIAÇÕES DE ALGODÃO
LINHAS
INDÚSTRIAS QUÍMICAS

TECELAGENS
ACABAMENTOS
TINTURARIAS
LAVANDARIAS
ESTAMPARIAS
FILTROS
DESPOEIRAGEM

Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações, L.da

(SONDADORA)

SONDAGENS geológicas e geotécnicas — CAPTAÇÕES de águas subterrâneas — REBAIXAMENTOS do nível freático — CONSOLIDAÇÕES E ESTABILIZAÇÃO do solo — INJECÇÕES DE CIMENTO e outros produtos — INFRAESTRUTURAS de barragens, túneis e pontes — FUNDAÇÕES de todos os tipos

Única Empresa da especialidade com sede no Ultramar Português

DELEGAÇÃO - LISBOA
R.S.Pedro de Alcântara, 1
Tel. 32 46 93 e 21 32 56

SEDE - LUANDA
Rua Serpa Pinto, 60
C.P.2178 - Tel.4226

MOÇAMBIQUE
L.Marques - C.P.982 - Tel.741121
Beira - C.P. 1002 - Tel. 71497

11. Para terminar esta conferência resta-nos dizer alguma coisa sobre métodos de cálculo.

Fixada a doutrina relativa à introdução no dimensionamento das solicitações sísmicas, assimiladas como se viu a forças estáticas horizontais, os métodos da Estabilidade das Estruturas são directamente aplicáveis. Dado, no entanto, que as estruturas do betão armado para edifícios são em geral muitas vezes hiperestáticas e que as solicitações sísmicas não são, como se viu, definidas com grande rigor, pode justificar-se, para estas solicitações, o emprego de métodos aproximados.

Para estruturas porticadas regulares temos aplicado um método muito expedito que designamos por «Método dos factores globais de distribuição». Uma descrição sucinta deste método, que corresponde a uma aproximação do método dos deslocamentos, empregando valores correctos para as rigidezes relativas dos diversos elementos estruturais, pode encontrar-se no livro «Strutural Design for Dynamic Loads», edição de «McGraw-Hill Book Company, Inc.».

A aplicação deste método processa-se através das seguintes fases sucessivas:

a) Designando por

K — rigidez de cada barra (pilar ou viga)
Kv — rigidez das vigas
Kp — rigidez dos pilares,

calculam-se, para todos os nós, os factores de viga «v» definidos do modo seguinte:

$$v = \Sigma Kp/\Sigma K,$$

em que os somatórios se referem às barras que concorrem no nó. Os valores de «v» assim calculados inscrevem-se junto das extremidades das vigas que concorrem no nó em estudo.

b) Calculam-se a seguir, de modo semelhante, os factores de pilar «p», definidos como segue:

$$p = \Sigma Kv/\Sigma K \quad (p = 1 - v),$$

e inscrevem-se junto das extremidades dos pilares a que dizem reespeito. Para as extremidades dos pilares do 1.° andar encastradas na fundação toma-se p = 1.

c) Concluídas as fases *a*) e *b*), dispõe-se dum esquema do pórtico com um número em cada extremidade de todas as barras. A estes números junta-se a seguir metade do número correspondente à outra extremidade da mesma barra.

d) Multiplicam-se os números obtidos na fase anterior pela rigidez da barra a que dizem respeito. Os produtos obtidos designam-se por «V» quando referentes a vigas e por «P» quando requando referentes a pilares.

e) As grandezas «P» são aproximadamente proporcionais aos valores dos momentos flectores nas extremidades dos pilares do pórtico. O equilíbrio estático da estrutura exige que a soma dos momentos nas duas extremidades de todos os pilares dum mesmo andar seja igual ao produto da força cortante no andar pela altura do andar. Deste modo podem obter-se, por simples proporção, os momentos nas extremidades dos pilares a partir dos números «P».

f) As grandezas «V» são aproximadamente proporcionais aos valores dos momentos nas extremidades das vigas. O equilíbrio dos nós exige que a soma dos momentos na extremidade dos pilares que concorrem num nó equilibre a soma dos momentos nas extremidades das vigas que concorrem no mesmo nó. Deste modo os valores dos momentos nas extremidades das vigas podem obter-se, por simples proporção, a partir dos números «V».

Apresenta-se a seguir, para ilustração do método, o exemplo de cálculo dum pórtico de dois andares e quatro vãos.

Na fig. 1 representa-se o esquema da estrutura com indicação da solicitação e das secções das diferentes barras. Na fig. 2, a meio de cada barra registam-se os valores dos coeficientes de rigidez (números proporcionais à rigidez da barra $= \frac{4EI}{l}$ tendo-se atribuído o valor 1,000 ao coeficiente de rigidez dos linteis inferiores.

A partir dos coeficientes de rigidez determinam-se os factores de viga e de pilar do modo que segue:

Nó 1:

$$v = \frac{0{,}320}{0{,}320 + 0{,}364} = 0{,}468$$

$$p = 1{,}000 - 0{,}468 = 0{,}532$$

Nó 2:

$$v = \frac{0{,}320}{0{,}320 + 0{,}364 + 0{,}364} = 0{,}305$$

$$p = 1{,}000 - 0{,}305 = 0{,}695.$$

Nó 3: igual ao nó 2.

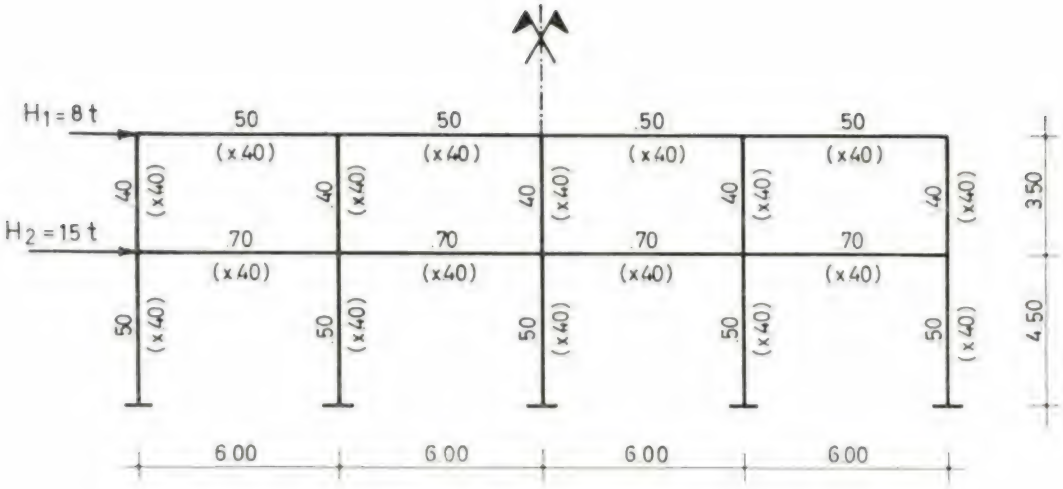


Fig. 1 — Esquema do pórtico

Nó 4:

$$v = \frac{0{,}486 + 0{,}320}{0{,}486 + 0{,}320 + 1{,}000} = 0{,}446$$

$$p = 1{,}000 - 0{,}446 = 0{,}554$$

Nó 5:

$$v = \frac{0{,}486 + 0{,}320}{0{,}486 + 0{,}320 + 1{,}000 + 1{,}000} = 0{,}287$$

$$p = 1{,}000 - 0{,}287 = 0{,}713$$

Nó 6: igual ao nó 5.

Nós 7, 8 e 9: $p = 1{,}000$.

A seguir, aos factores obtidos para cada extremidade de cada barra adicionou-se metade do factor correspondente à extremidade oposta. Os cálculos respeitantes a estas operações constam também da fig. 2. Os números assim determinados multiplicaram-se pelos coeficientes de rigidez da barra a que diziam respeito, obtendo-se as grandezas que se designaram por «V» e «P», conforme diziam respeito a uma viga ou a um pilar. Estas grandezas estão registadas na fig. 3.

A partir das grandezas «P» obtém-se os momentos flectores nas extremidades dos pilares

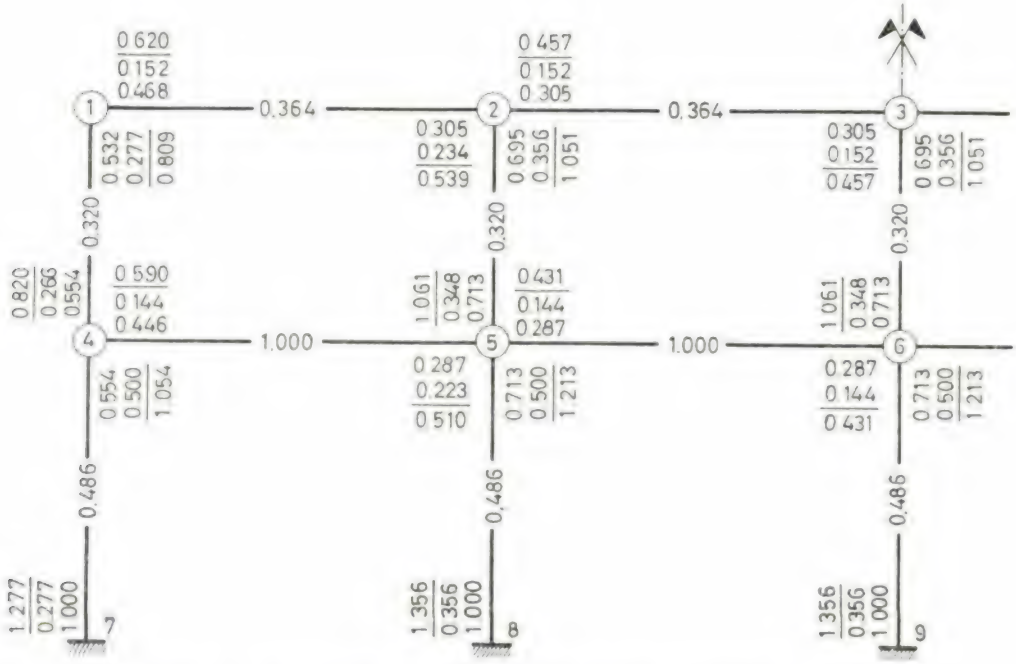


Fig. 2 — Coeficientes de rigidez, factores de viga e factores de pilar

por meio das equações de equilíbrio de andar.

É, para o andar superior:

$$8{,}00 \times 3{,}50 = (2 \times 0{,}259 + 3 \times 0{,}336 + 2 \times 0{,}262 + 3 \times 0{,}340) \cdot K_1$$

$$28{,}00 = 3{,}070 \cdot K_1$$

$$K_1 = 9{,}120$$

momento não equilibrado

$$3{,}10 + 10{,}16 = 13{,}26 \text{ tm}$$

momento na extremidade da direita da viga 4-5

$$-13{,}26 \times \frac{0{,}510}{0{,}510 + 0{,}431} = -7{,}19 \text{ tm}$$

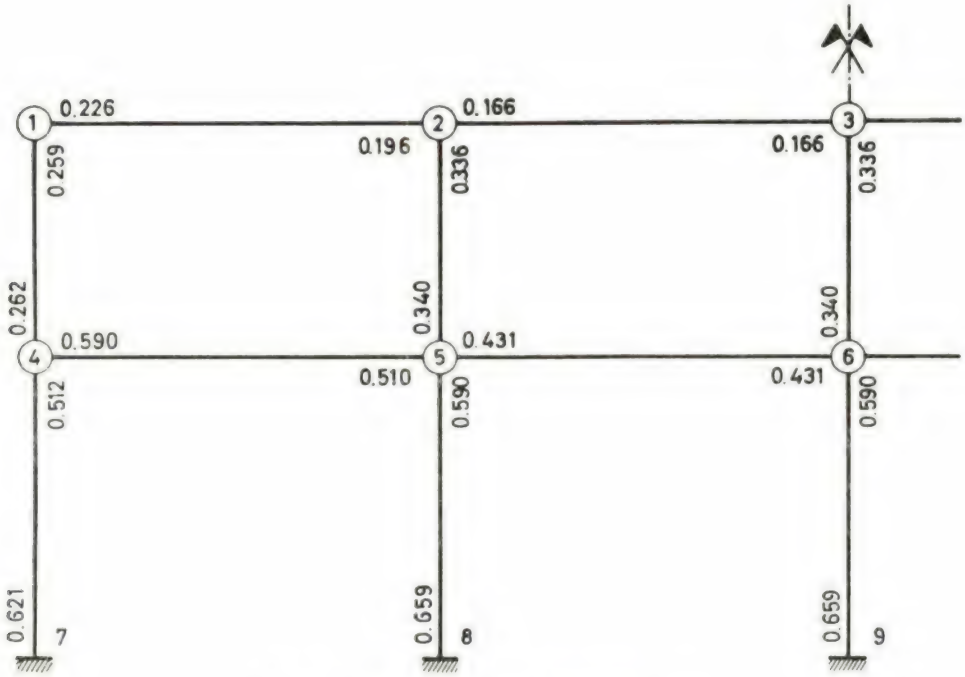


Fig. 3 — Valores das grandezas «P» e «V»

Para o andar inferior temos, do mesmo modo:

$$(8{,}00 + 15{,}00) \times 4{,}50 = (2 \times 0{,}512 + 3 \times 0{,}590 + 2 \times 0{,}621 + 3 \times 0{,}659) \cdot K_2$$

$$103{,}50 = 6{,}013 \cdot K_2$$

$$K_2 = 17{,}213$$

Multiplicando-se as grandezas «P» relativas aos pilares do andar superior por K_1 e as relativas aos pilares do andar inferior por K_2 obtêm-se os valores dos momentos flectores nas extremidades dos pilares.

Obtidos os momentos nos pilares, para obter os momentos nas vigas, basta distribuir, em cada nó, proporcionalmente às grandezas «V», o momento não equilibrado correspondente aos pilares, pelas vigas que concorrem no nó.

É, por exemplo para o nó 5:

momento na extremidade da esquerda da viga 5-6

$$-13{,}26 \times \frac{0{,}431}{0{,}510 + 0{,}431} = -6{,}07 \text{ tm.}$$

De modo semelhante foram determinados os momentos nas extremidades de todas as vigas.

Na fig. 4 inscreveram-se os valores dos momentos finais em todos os nós. Da mesma figura constam também, para comparação, inscritos dentro de pequenos rectângulos, os valores dos momentos calculados pelo método de Cross. Em todos os cálculos foi usada a régua de cálculo de 25 cm.

A convenção de sinais adoptados foi a que consiste em supor positivos os momentos que produzem rotação no sentido dos ponteiros dum

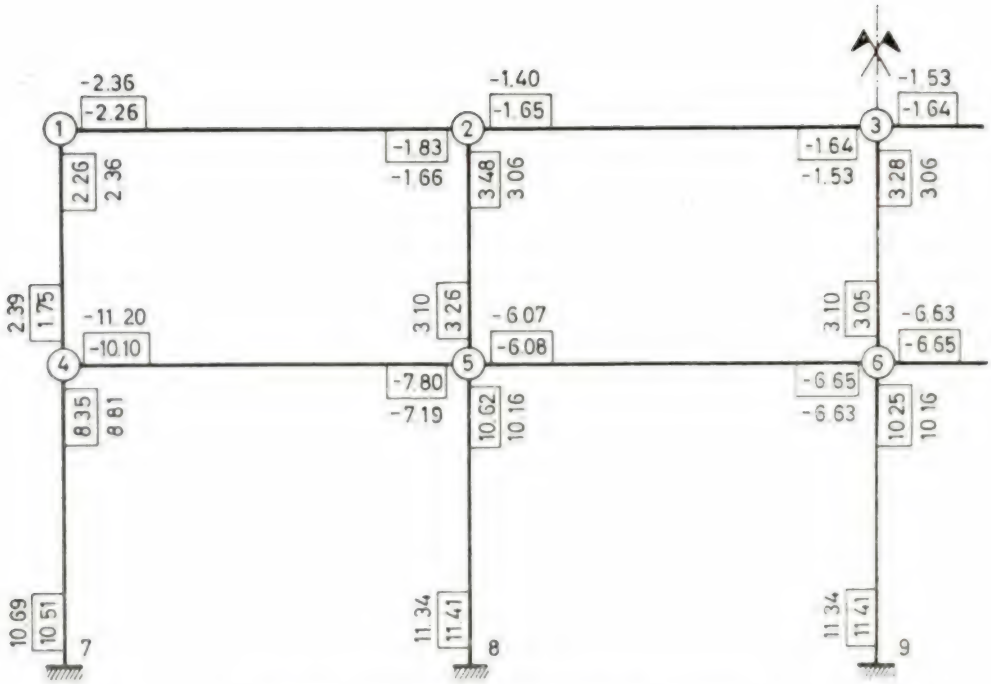


Fig. 4 — Momentos finais em toneladas × metros

2,26 — valores obtidos pelo método de Cross

2,36 — valores obtidos peio método dos factores globais de distribuição

relógio, tanto nas extremidades da direita como nas da esquerda. Note-se que, com esta convenção, o método pode aplicar-se sem ter que atender a sinais dos momentos pois que se tem sempre momentos dum mesmo sinal nos pilares e momentos de sinais contrários nas vigas. E, como em geral há que considerar a actuação da solicitação tanto da esquerda como da direita da estrutura, haverá que admitir para os momentos obtidos os dois sinais.

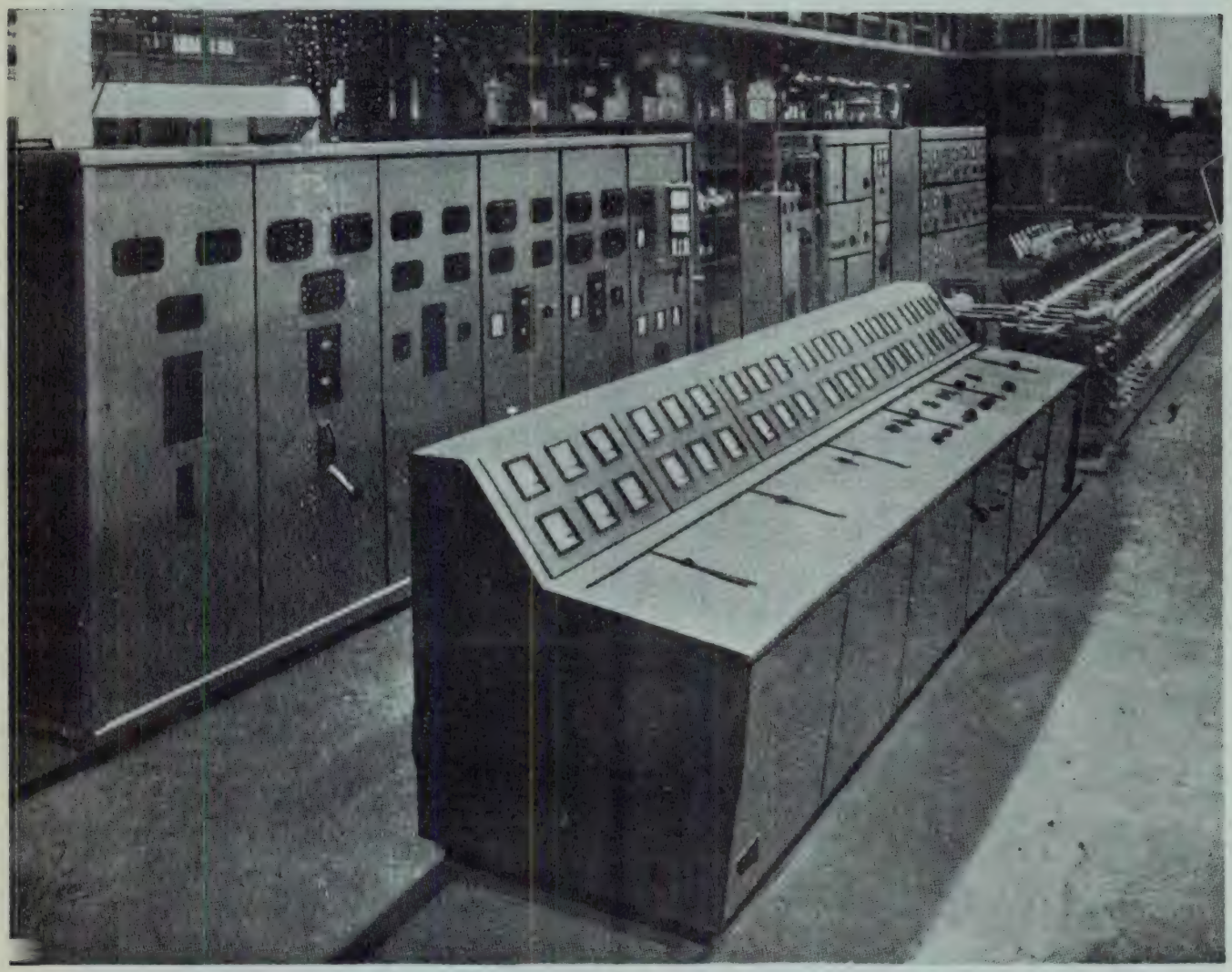
JAYME DA COSTA, L^DA

MECÂNICA E ELECTRICIDADE EM TODAS AS APLICAÇÕES

PORTO
Praça da Batalha, 12
Telef. 2 28 12 (PPC)

LISBOA
Rua dos Correeiros, 14
Telef. 32 70 35 (PPC)

LUANDA
Cx. Postal 5174
Telef. 4743



Material fabricado nas nossas oficinas, pronto para expedição

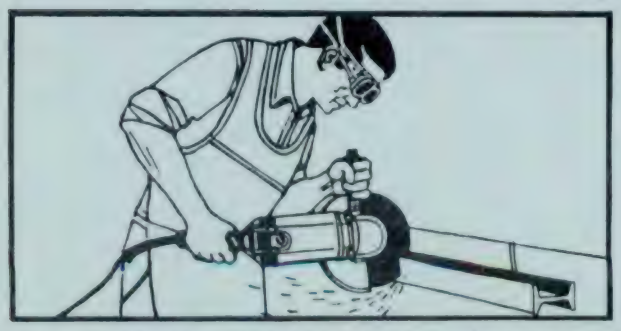
- Fabricação de aparelhagem eléctrica de alta e baixa tensão
- Equipamentos electromecânicos completos para centrais e fábricas
- Postos de transformação tipo monobloco
- Quadros blindados, capsulados e em armário
- Armaduras de iluminação de todos os tipos
- Contadores eléctricos e instrumentos de medida
- Telemedida e telecomando
- Instalações elevatórias de água
- Instalações de saneamento e esgotos
- Ferramentas de corte
- Motores Diesel industriais e marítimos
- Fogões eléctricos
- Frigoríficos
- Ventilação e condicionamento de ar
- Aparelhagem de Raios X e electromedicina

REBARBADORA BOSCH

MAIS LEVE • MAIS POTENTE

Comprada e apreciada em todo o mundo, a rebarbadora Bosch oferece-lhe grande poder de desbaste e corte tanto em ferro como em pedra.
Facilidade de manejo e resistência.
Maior potência numa ferramenta de peso reduzido — maior rendimento e economia.

Assistência Técnica em todo o País



ROBERT BOSCH (PORTUGAL), LDA. LISBOA - PORTO

C. D. U. 624.04 : 512 831

ELEMENTOS SOBRE ANÁLISE MATRICIAL DE ESTRUTURAS RETICULADAS EM REGIME LINEAR

por ARTUR RAVARA
Estagiário para especialista da Divisão de Mecânica Aplicada do LNEC

RESUMO

A partir do princípio dos trabalhos virtuais apresenta-se a determinação da matriz de deformalidade e rigidez de uma estrutura reticulada, em regime linear; a formulação matricial adoptada facilita consideràvelmente a sistematização dos cálculos.

As expressões gerais deduzidas são particularizadas para o caso de vigas, de que se apresentam quatro aplicações numéricas.

SYNOPSIS

General expressions for flexibility and stiffness matrices of linear structures are derived, based on the principle of virtual work; matrix formulation adopted is very useful to sistematize structural analysis.

General expressions are particularized for beams; four numerical examples are presented.

1 — INTRODUÇÃO

A formulação da teoria das estruturas, em regime estático ou dinâmico, em termos de álgebra matricial, facilita grandemente a sistematização dos cálculos, sejam eles efectuados ou não por meio de computadores.

Na análise matricial das estruturas reticuladas utiliza-se correntemente o método das forças e o método dos deslocamentos. O método das forças é baseado em trabalhos de Maxwell (1864) e Mohr (1869) e corresponde, como se sabe, à substituição de ligações hiperestáticas por forças que restabelecem a compatibilidade dos deslocamentos nos pontos da estrutura onde se cortaram as ligações hiperestáticas.

O método dos deslocamentos, ou das fixações, deve-se aos trabalhos de Bendixen (1914) e Ostenfeld (1926) e corresponde à introdução de fixações em determinados pontos da estrutura e consequente aplicação nestes pontos de deslocamentos que restabelecem o equilíbrio das solicitações aplicadas.

Nas publicações de referência bibliográfica (1) a (7) desenvolve-se a formulação dos dois métodos referidos em termos de álgebra matricial.

Torna-se necessário, para aplicação de qualquer dos métodos, a descrição das características elásticas da estrutura em estudo. Esta descrição faz-se no método das forças, através da matriz de deformabilidade; no método dos deslocamentos, por meio da matriz de rigidez.

A determinação das matrizes de deformabilidade e de rigidez de estruturas reticuladas em regime linear constitui o objectivo deste artigo: assim, a partir do princípio dos trabalhos virtuais deduzem-se as expressões gerais que permitem calcular as referidas matrizes em estruturas isostáticas e hiperestáticas. Estas expressões constituem as relações fundamentais da análise matricial e são obtidas a partir das características elásticas das barras da estrutura.

Os princípios expostos são particularizados para o caso de vigas isostáticas, contínuas, com apoios rígidos ou elásticos e ainda para consolas, de secção constante e variável. Apresentam-se quatro aplicações numéricas, extraídas do trabalho cuja referência bibliográfica é (3).

2 — CONCEITOS BÁSICOS

A formulação matricial da teoria de estruturas é feita em três fases:

— divisão das estruturas em elementos discretos;
— análise em termos matriciais, dos elementos discretos;
— análise das propriedades globais das estruturas, através de relações que estabelecem o

equilíbrio e a compatibilidade entre as solicitações e deformações dos elementos discretos.

Esta divisão das estruturas em elementos discretos ou elementos finitos, deu origem à designação geral de *método dos elementos finitos*.

Os pontos de ligação entre os elementos finitos chamam-se nós; é através deles que se introduzem as referidas condições de equilíbrio e compatibilidade.

Em face do exposto, definiremos *estrutura* como um conjunto finito de elementos discretos, ligados num número finito de nós e solicitados ùnicamente nestes nós.

Assim, no caso da fig. 1, para que o pórtico corresponda à definição apresentada, considera-se que em B existe um nó.

A redução das estruturas à definição apresentada permite que na sua análise se empreguem ùnicamente equações algébricas e nunca equações diferenciais.

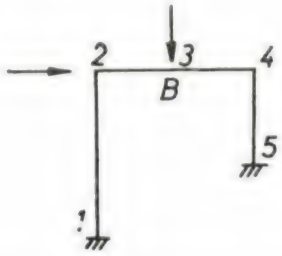


Fig. 1 — Estrutura com 5 nós

O principal objectivo da análise matricial das estruturas é pois a determinação dos deslocamentos e esforços nos nós. Para o conseguir, é necessário ter em conta três características de comportamento das estruturas:

— equilíbrio entre todas as forças aplicadas num nó
— compatibilidade de deformações
— relações força-deformação

A análise matricial das estruturas segundo os princípios apontados pode fazer-se por dois métodos, igualmente gerais e aplicáveis a qualquer tipo de estrutura:

— método das forças
— método dos deslocamentos

3 — APLICAÇÃO DO PRINCÍPIO DOS TRABALHOS VIRTUAIS

Seja uma estrutura qualquer, actuada por um sistema de solicitações exteriores redutíveis a uma força F e a um momento M (fig. 2).

De acordo com a definição, supomos a estrutura decomposta em 4 elementos finitos (a), (b), (c), (d), sendo:

R_n — solicitações aplicadas, actuando nos nós
r_n — deslocamentos dos nós, na direcção da solicitação aplicada (translacção ou rotação, conforme R_n for uma força ou um momento).

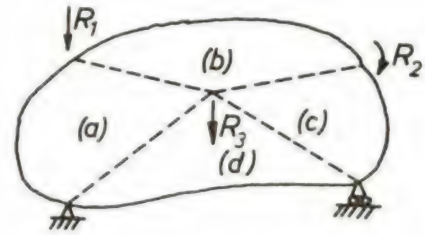


Fig. 2

Isolemos o elemento (a) com as forças e momentos necessários para o manter em equilíbrio (fig. 3).

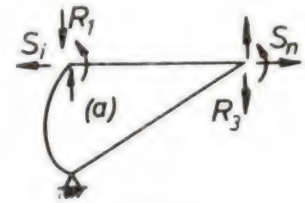


Fig. 3

Sejam:

S_i — esforços interiores (forças e momentos)
v_i — deformações devidas a S_i, na respectiva direcção (translacção ou rotação conforme S_i for uma força ou um momento)

O trabalho das forças aplicadas em toda a estrutura será

$$W_E = \sum_n R_n\, r_n = \{R_n\}^T \{r_n\} = R^T r$$

adoptando a notação matricial.

O trabalho dos esforços interiores será

$$W_i = \sum_i S_i\, v_i = \{S_i\}^T \{v_i\} = S^T v$$

Ora, pelo *princípio dos trabalhos virtuais*, se uma estrutura está em equilíbrio sob a acção de forças aplicadas e interiores e é submetida a uma deformação compatível com essas forças, o trabalho das forças aplicadas é igual ao dos esforços interiores.

Portanto:

$$W_E = W_i$$

Como veremos, o princípio dos trabalhos virtuais está na base das relações fundamentais da análise matricial. Para explicitar claramente o seu conteúdo, consideremos dois exemplos elementares de aplicação:

Ex. 1.º — Dada a estrutura da fig. 4, articulada, na qual se supõem conhecidas as deformações axiais das barras, pretende-se determinar os deslocamentos dos nós.

O problema pode ser resolvido pelo método de Williot. Apliquemos porém o princípio dos trabalhos virtuais:

Consideremos a força aplicada $R_1 = 1$. Devido a ela desenvolvem-se nas barras forças axiais S_a, S_b, S_c, S_d, S_e, S_f, S_g, que se determinam fàcilmente pelo método de Cremona.

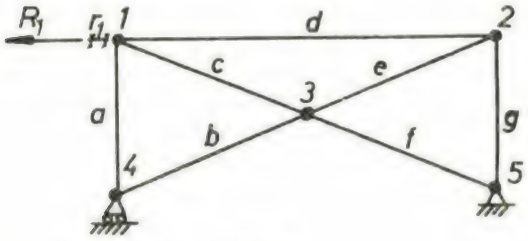


Fig 4

As deformações axiais de cada barra serão v_a, v_b, ... v_g.

O trabalho das forças aplicadas é:

$$W_E = R^T r = R_1 . r_1 = r_1$$

O trabalho das forças interiores será

$$W_i = S^T v$$

sendo

$$W_E = W_i$$

vem

$$r_1 = S^T v = \Sigma S_i v_i$$

(Note-se que $v_g = 0$, pois a barra g não contribui para a deformação r_1).

Ex. 2.º — Dada a estrutura articulada representada na fig. 5 na qual são conhecidos os esforços axiais nas barras, S_i, determinar o valor de R_1.

Apliquemos no nó 1 a deformação unitária $r_1 = 1$, sendo $r_1 // R_1$ e determinemos a deformação nas barras, obtendo assim os valores v_i. Será então:

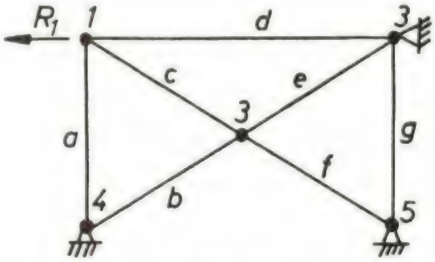


Fig. 5

$$W_E = R^T r = R_1 r_1 = R_1$$

$$W_i = S^T v = \sum_i S_i v_i$$

$$W_E = W_i \therefore R_1 = \sum_i S_i v_i$$

Verifica-se que para aplicar o princípio dos trabalhos virtuais é necessário relacionar, no 1.º ex., as solicitações aplicadas com os esforços nas barras; no 2.º ex. é necessário relacionar os deslocamentos aplicados nos nós com os deslocamentos interiores.

Por outro lado, é de notar que o princípio dos trabalhos virtuais não exige linearidade. No entanto trataremos apenas de estruturas em regime linear, perfeitamente elástico.

4 — COEFICIENTES DE INFLUÊNCIA. MATRIZES DE DEFORMABILIDADE E DE RIGIDEZ

4.1 — Coeficientes de influência

Os coeficientes de influência são parâmetros que traduzem, para um elemento finito ou para a estrutura em conjunto, relações entre solicitações e os respectivos deslocamentos. Podem ser de dois tipos:

Coeficientes de deformabilidade — são deslocamentos devidos a solicitações unitárias. Assim, numa dada estrutura, o coeficiente de deformabilidade f_{ik} será o deslocamento no nó i quando actua uma solicitação unitária no nó k (sendo o deslocamento na direcção e sentido da solicitação).

O deslocamento total v_i no nó k, causado por todas as forças que actuam sobre a estrutura, será:

$$v_i = \sum_k f_{ik} S_k$$

ou, na forma matricial:

$$\{v\} = [f] \{S\} \; ; \; v = f.S$$

Ao conjunto de coeficientes de deformabilidade, ordenados segundo linhas e colunas, chama-se *matriz de deformabilidade.*

Coeficientes de rigidez — são solicitações devidas a deslocamentos unitários. O coeficiente de rigidez k_{ij} será a solicitação que se desenvolve no nó i quando se impõe um deslocamento unitário no nó j e deslocamentos nulos nos outros nós.

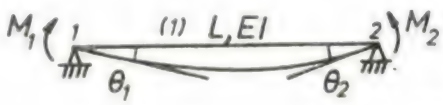


Fig. 7

A força total no nó i devida a todos os deslocamentos aplicados será então:

$$S_i = \sum_j k_{ij} \; v_j$$

ou, na forma matricial:

$$\{S\} = [k] \{v\} \; ; \; S = k.v$$

Ao conjunto de coeficientes de rigidez, ordenados segundo linhas e colunas, chama-se *matriz de rigidez.*

Tanto os coeficientes de influência como as respectivas matrizes podem ser definidos para solicitações e deslocamentos aplicados ou interiores. A notação apresentada corresponde a solicitações e deslocamentos *interiores.* Como em geral o que se pretende são as relações entre as solicitações aplicadas e os respectivos deslocamentos, é necessário relacionar os dois tipos de matriz, o que se faz através do princípio dos trabalhos virtuais, que permite deduzir as relações fundamentais da análise matricial de estruturas, conforme se verá mais adiante.

Devido ao princípio da reciprocidade de Maxwell, as matrizes de deformabilidade e de rigidez são simétricas. E demonstra-se também que são inversas uma da outra, ou seja:

$$[f]^{-1} = [k]$$

4.2 — Matriz de deformabilidade de uma barra recta

a) Barra solicitada apenas por força axial (fig. 6).

$$\frac{\Delta}{N} = \frac{L}{A\,E} = f$$

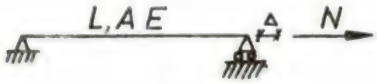


Fig. 6

A matriz neste caso só tem um termo, de valor L/AE.

b) Barra solicitada por momento flector (fig. 7).

Podemos descrever a matriz de deformabilidade a partir de (1) ou de (2). Utiliza-se mais correntemente (1). Será:

$$\begin{Bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} = \frac{L}{6\,E\,I} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} M_1 \\ M_2 \end{Bmatrix}$$

A matriz de deformabilidade serão então:

$$[f] = \frac{L}{6\,E\,I} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}$$

c) Barra solicitada por esforço axial e momento flector.

Podemos escrever a matriz sob a forma:

$$\{v\} = [f] \{S\}$$

$$\{v\} = \begin{Bmatrix} v_i \\ v_j \\ v_k \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \Delta \end{Bmatrix}$$

$$\{S\} = \begin{Bmatrix} S_i \\ S_j \\ S_k \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ N \end{Bmatrix}$$

$$[f] = \frac{L}{6\,E\,I} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{6\,I}{A} \end{bmatrix}$$

sendo a notação a empregada nos casos *a*) e *b*).

Se a barra for de secção variável, os termos da matriz alteram-se.

4.3 — Matriz de deformabilidade de um elemento genérico

Seja um troço elementar de uma barra de eixo qualquer, indicado na fig. 8, caracterizado por:

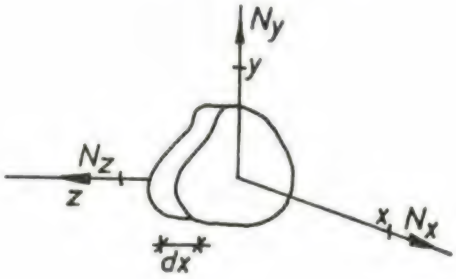


Fig. 8

A — área

I_z , I_y — momentos de inércia axial

A'_y , A'_z — áreas equivalentes para efeito de deformação por esforço transverso

E , G , — constantes elásticas

I_o — momento de inércia polar

Sejam ainda

N_x , N_y , N_z — esforços axiais segundo os eixos $\overline{xx}$, $\overline{yy}$ e $\overline{zz}$

M_x , M_y , M_z — momentos segundo os eixos $\overline{xx}$, $\overline{yy}$ e $\overline{zz}$

v_x , v_y , v_z — deformações axiais segundo os eixos $\overline{xx}$, $\overline{yy}$ e $\overline{zz}$

θ_x , θ_y , θ_z — rotações segundo os eixos $\overline{xx}$, $\overline{yy}$ e $\overline{zz}$

Neste caso será:

$$\begin{Bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \\ \theta_x \\ \theta_y \\ \theta_z \end{Bmatrix} = dx \begin{bmatrix} \frac{1}{AE} & & & & & \\ & \frac{1}{A'_y G} & & & & \\ & & \frac{1}{A'_z G} & & O & \\ & & & \frac{1}{GI_o} & & \\ & & & & \frac{1}{EI_y} & \\ O & & & & & \frac{1}{EI_z} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_z \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{Bmatrix}$$

ou seja

$$\{v\} = [f]\{s\}$$

a matriz [f] neste caso é diagonal.

4.4 — Matriz de rigidez de uma barra recta

a) Barra solicitada só por rotação (fig. 9)

A matriz rigidez é constituída pelos momentos flectores devidos a rotações unitárias nas extremidades 1 e 2, ou seja:

$$[k] = \begin{bmatrix} \frac{4EI}{L} & \frac{2EI}{L} \\ \frac{2EI}{L} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}$$

b) Barra solicitada por rotação e translacção (fig. 10)

$$[k] = \begin{bmatrix} \frac{4EI}{L} & \frac{6EI}{L^2} \\ \frac{6EI}{L^2} & \frac{12EI}{L^3} \end{bmatrix}$$

c) Barra solicitada por 2 translacções e 1 rotação (fig. 11)

É o caso mais geral. A matriz rigidez está na base da formulação da maioria dos programas de cálculo de estruturas reticuladas pelo método dos deslocamentos.

Será então:

$$[k] = \begin{array}{c} \theta = 1 \;\; | \;\; \Delta_y = 1 \;\; | \;\; \Delta_x = 1 \\ \left[\begin{array}{c|c|c} \frac{4EI}{L} & \frac{6EI}{L^2} & 0 \\ \hline \frac{6EI}{L^2} & \frac{12EI}{L^3} & 0 \\ \hline 0 & 0 & \frac{AE}{L} \end{array}\right] \end{array} \begin{array}{c} \\ M \\ T \\ N \end{array}$$

em que:

v — deformação axial

S — esforço axial

$f = \frac{L}{AE}$ — deformabilidade de cada barra

A matriz de rigidez será também diagonal e simétrica:

$$[k] = [f]^{-1} = \left[\frac{1}{f}\right]$$

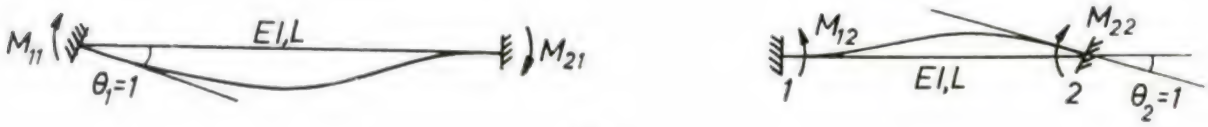


Fig. 9

Fig. 10

Fig. 11

4.5 — Exemplo de aplicação

Seja a estrutura articulada indicada na fig. 12. Vejamos qual a forma das matrizes de flexibilidade e de rigidez que relacionam os esforços axiais nas barras com as respectivas deformações.

Será:

$$\begin{Bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ v_g \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} f_a & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & f_b & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & f_c & 0 & \cdot & 0 \\ & & & & & \\ & & & & & \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & f_g \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} S_a \\ S_b \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ S_g \end{Bmatrix}$$

ou seja:

$$\{v\} = [f]\,\{S\}$$

$$[k] = \begin{bmatrix} 1/f_a & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ & & & & & & & & & \\ & & & & & & & & & \\ & & & & & & & & & \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 1/f_g \end{bmatrix}$$

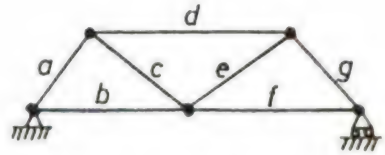


Fig. 12

5 — MATRIZES DE TRANSFORMAÇÃO DE SOLICITAÇÕES E DE DESLOCAMENTOS

5.1 — Matriz de transformação de solicitações aplicadas em esforços

A relação entre as solicitações aplicadas a uma estrutura e os esforços que se desenvolvem nos seus elementos pode exprimir-se por meio de uma matriz [b] cujos elementos serão portanto os esforços desenvolvidos nos elementos da estrutura devido á acção de forças aplicadas unitárias. O elemento genérico desta matriz será portanto:

b_{ij} — esforço desenvolvido em i devido à aplicação da solicitação unitária em j.

À matriz [b] chama-se *matriz de transformação de solicitações aplicadas em esforços.*

No caso de estruturas isostáticas, escrever a matriz [b] não oferece qualquer dificuldade. Designaremos neste caso a matriz por $[b_o]$. No caso de estruturas hiperestáticas. para escrever a matriz é necessário determinar prèviamente as incógnitas hiperestáticas; a matriz será então dada por

$$[b] = [b_o] + [b_1 X]$$

sendo:

b_o — matriz de transformação de solicitações para a estrutura suposta isostática

X — solicitações correspondentes às incógnitas hiperestáticas

b_1 — matriz de transformação das incógnitas hiperestáticas em esforços, ou seja, esforços correspondentes à actuação de incógnitas hiperestáticas de valor unitário.

Para construir as matrizes $[b_o]$ e $[b_1]$ torna-se pois necessário transformar a estrutura hiperestática em isostática, substituindo as ligações superabundantes pelas solicitações X correspondentes.

Adiante se verá como se determina neste caso o valor de X.

Exemplo

Seja a estrutura isostática articulada indicada na fig. 13.

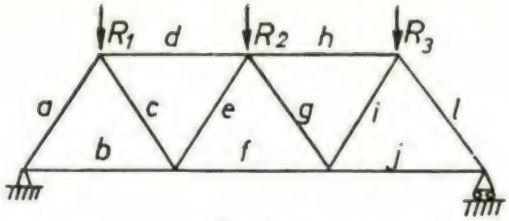


Fig. 13

Os termos da matriz de transformação de solicitações $[b_o]$ serão neste caso os esforços axiais, S, nas barras, devidos à acção de solicitações unitárias //s R_1, R_2, R_3, ou seja:

$$S_a = b_{a1} R_1 + b_{a2} R_2 + b_{a3} R_3$$

$$S_b = b_{b1} R_1 + b_{b2} R_2 + b_{b3} R_3$$

.

.

.

$$S_l = b_{l1} R_l + b_2 R_{l2} + b_{l3} R_3$$

Em geral será então:

$$\{S\} = [b_o] \{R\} \quad ; \quad S = b_o R$$

5.2 — Matriz de transformação de deslocamentos aplicados em interiores

Define-se de um modo perfeitamente análogo à matriz de transformação de solicitações, substituindo apenas o conceito de solicitações pelo de deslocamentos. Designaremos esta matriz por [a]. Será, no caso da fig. 14, sendo:

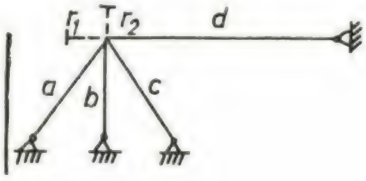


Fig. 14

r_1, r_2 — deslocamentos aplicados

$v_a, \ldots v_d$ — deslocamentos interiores

Fig. 14

$$v_a = a_{a1} r_1 + a_{a2} r_2$$

$$v_b = a_{b1} r_1 + a_{b2} r_2$$

$$v_c = a_{c1} r_1 + a_{c2} r_2$$

$$v_d = a_{d1} r_1 + a_{d2} r_2$$

$$\{v\} = [a] \{r\}$$

O termo genérico de [a] será então:

a_{ij} — deslocamento interior em i devido à aplicação do deslocamento unitário em j e a deslocamentos nulos em todos os outros nós.

Embora as matrizes [a] e [b] sejam definidas de modo idêntico, há entre elas uma diferença importante: enquanto que a matriz [b] só é de formação imediata nas estruturas isostáticas, a matriz [a] constrói-se com igual facilidade em estruturas isostáticas ou hiperestáticas. Este facto leva, como se verá, a que o método de cálculo matricial que utiliza a matriz de transformação de deslocamentos ou seja o *método dos deslocamentos*, seja de aplicação mais fácil que o *método das forças*, que utiliza a matriz de transformação das solicitações.

6 — RELAÇÕES FUNDAMENTAIS DA ANÁLISE MATRICIAL

A partir dos elementos apresentados até aqui, é possível deduzir as relações gerais entre solicitações aplicadas e os deslocamentos correspondentes nos nós. Estas relações são expressas pelas matrizes de deformabilidade e de rigidez da estrutura.

6.1 — Método das forças

Este método utiliza a matriz de deformabilidade, deduzida como se indica seguidamente.

6.1.1 — Estruturas isostáticas

O trabalho dos esforços interiores será, adoptando a notação empregada até aqui:

$$W_i = S^T . v = S^T . f . S = S^T f b R$$

mas sendo:

$$S = b R$$

é

$$S^T = R^T b^T$$

e vem portanto:

$$W_i = R^T b^T f b R$$

O trabalho das solicitações aplicadas será:

$$W_E = R^T r$$

Como

$$W_E = W_i$$

vem:

$$R^T r = R^T b^T f b R$$

ou seja:

$$r = b^T f b R$$

em que, como se referiu:

r — deslocamentos dos nós
R — solicitações aplicadas

Portanto, designando por [F]

$$[F] = b^T . f . b$$

será finalmente:

$$\{r\} = [f] \{R\}$$

$$[F] = b^T f b$$

Portanto [F] é a matriz que relaciona as solicitações aplicadas com os deslocamentos dos nós, ou seja a *matriz de deformabilidade* da estrutura. Para a determinar, torna-se necessário construir as matrizes [f] e [b], que são, como se viu, respectivamente a *matriz de deformabilidade dos elementos da estrutura* e a *matriz de transformação de solicitações aplicadas nos nós em esforços nas barras.*

Exemplo: — Seja o pórtico indicado na fig. 15, solicitado pelas forças R_1 e R_4. Pretende determinar-se a matriz de deformabilidade dos deslocamentos horizontais dos nós 1 e 4.

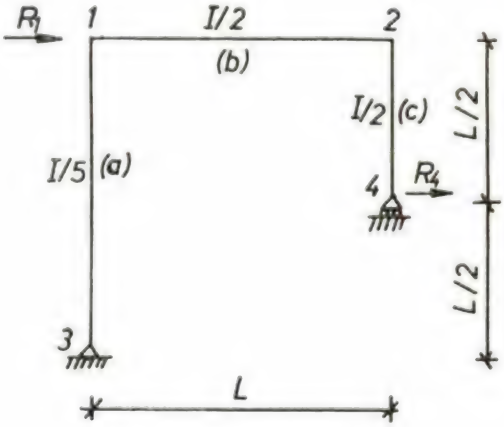
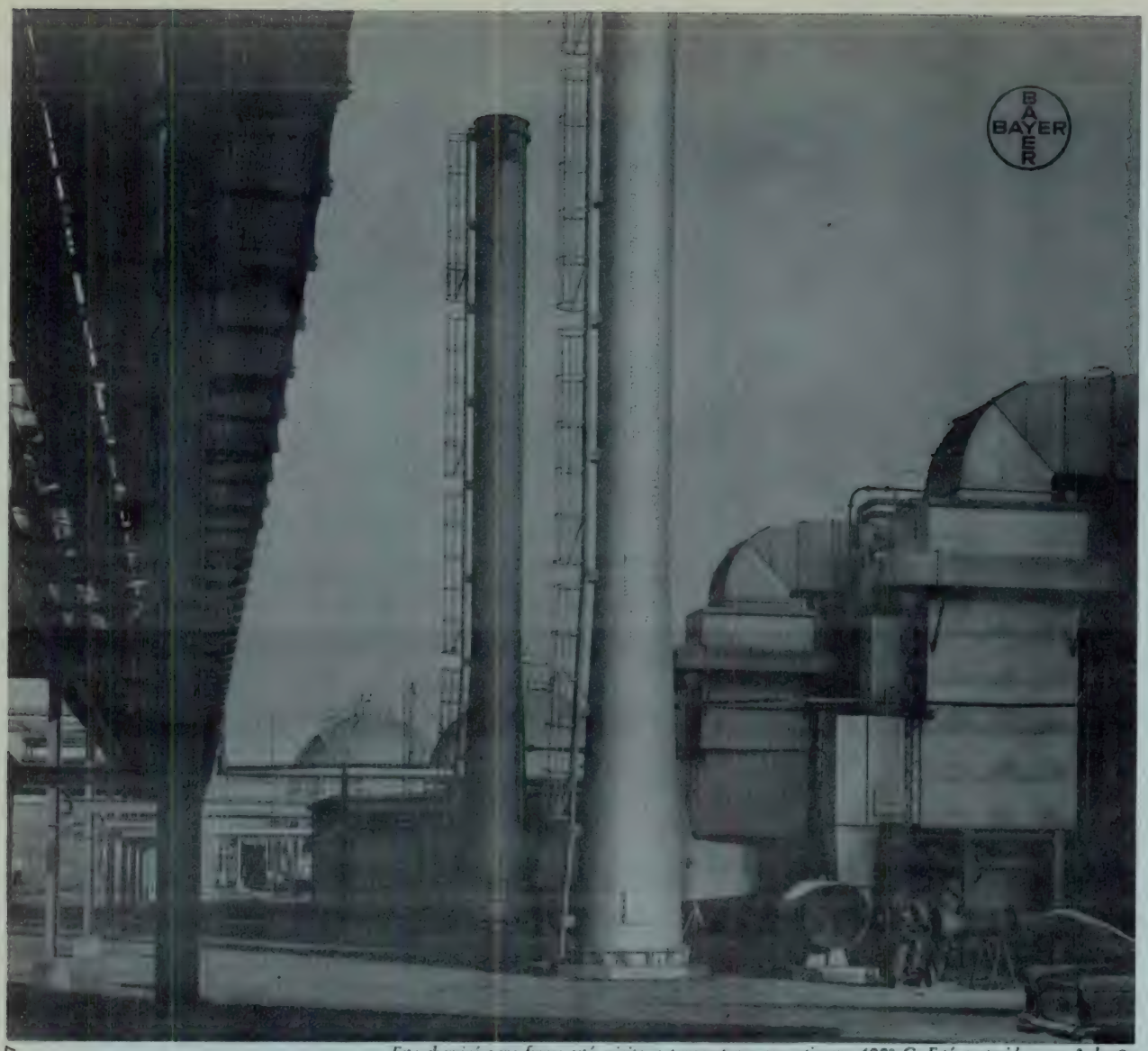


Fig. 15

a) *Matriz de deformabilidade dos elementos da estrutura:* relaciona em cada barra o momento



3707

Esta chaminé para fumos está sujeita a temperaturas que atingem 400° C. Está protegida com 3 demãos duma pintura à base de resinas de silicone.

Pintar frequentemente - ou aplicar uma protecção duradoura com tintas de resina de silicone?

Todas as peças metálicas sujeitas aos efeitos da intempérie, de gases agressivos e de temperaturas elevadas, alternada ou permanentemente, têm de ser protegidas contra a corrosão, quer se trate de tubos ou de panelas de escape, fornos rotativos, instalações de cracking, de altos fornos, de peças de motores ou de chaminés. Deveriam ser protegidos com tintas de resinas de silicone! Pois que as resinas de silicone tem uma resistência ao calor sensivelmente melhor que os aglutinantes puramente orgânicos. Mesmo no caso dum aquecimento fortemente excessivo, essas resinas não são completamente destruidas como os aglutinantes orgânicos, mas são apenas oxidadas transformando-se completa ou parcialmente em anidrido silícico.

Com pigmentos apropriados, especialmente com pó de zinco ou de aluminio, ou com óxido de ferro micácio, o mencionado anidrido silícico forma camadas protectoras bem aderentes, espessas, muito resistentes, que não estalam, nem mesmo no caso de alterações bruscas de temperatura, como as que se dão, por exemplo, com chuva forte sobre chaminés quentes, fornos rotativos, etc. As camadas de tinta de resina de silicone são muito hidrófobas e de excelente resistência à intempérie. Por isso também as resinas de silicone de secagem ao ar garantem uma boa protecção contra a corrosão.

Teremos muito prazer em aconselhar V. Exa. sobre tintas de protecção contra a corrosão, preparadas com resinas de silicone Bayer; queira fazer o favor de escrever a:

bayer·silicone

S. A. R. L. Quimicor,
Representante em Portugal
Lisboa: Rua Sociedade Farmacêutica, 3, Tel. 4 21 94
Porto: Rua de Santos Pousada, 441, Tel. 5 41 41

O mesmo que se obtém com um telefone normal através de um circuito físico, pode ser agora obtido com um feixe hertziano tipo ATE (700) transistorizado sem usar qualquer linha física

Quer seja de telefone para telefone ou telefone para central ou ainda central para central, o equipamento ATE (700) é o mais recente e de melhor utilização nos centros rurais. Melhor pelo seu baixo consumo, pois consome apenas uma carga de pilhas por ano. Melhor porque sendo um rádio telefone tem as mesmas possibilidades que tem um telefone, inclusivé facilidades de funcionamento com linhas partilhadas num circuito de transmissão.
Melhor ainda porque não tem válvulas — é completamente transistorizado, de modo a ter a maior duração possível.
É de instalação fácil, completamente estanque podendo trabalhar entre temperaturas de — 20° C a + 55° C
Fabrica-se nas bandas alta e baixa de VHF (54/88 Mc/s), (150/184 Mc/s) tendo ainda a possibilidade de ser usado com um amplificador de Rádio Frequência para um aumento do raio de propagação.
Estes são portanto os motivos que nos levam a aconselhar a adopção de tal equipamento em áreas de difícil acesso para manutenção.
Para mais detalhes os Serviços Técnicos da AEP estão à inteira disposição de V. Ex.ª.

Fábrica
CABO RUIVO

AUTOMÁTICA ELÉCTRICA PORTUGUESA

LISBOA S.A.R.L.

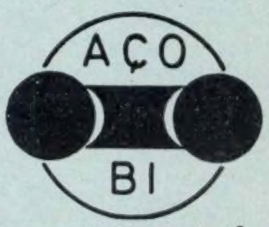
Associada ao grupo de companhias PLESSEY Inglaterra

Companhia Portuguesa de Trefilaria
S. A. R. L.

ARMADURAS PRÉ-FABRICADAS **MALHASOL**

Tensão de segurança 3.000 Kgf/cm²

AÇO BI



Tensão de segurança 4.000 Kgf/cm²

AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA PARA BETÃO ARMADO

que pela eficiência técnica e económica a que conduzem, são um indispensável elemento na moderna construção civil

Para qualquer obra em betão armado consulte:

DIAL — GABINETE TÉCNICO
R. DO INSTITUTO INDUSTRIAL, 18-1.º Dt.º
TELEFONES 67 12 24/5 e 67 37 85 - LISBOA

FUNDAMENTOS DAS RADIOCOMUNICAÇÕES

POR

MANUEL JOSÉ ABREU FARO
PROF. DO I. S. T.

DESCONTO 10% AOS ASSINANTES

EDIÇÃO DA TECNICA

PREÇO = 30$00

flector aplicado nos nós com a respectiva rotação. Será da forma:

$$[f] = \begin{bmatrix} f_a & & 0 \\ & f_b & \\ 0 & & f_c \end{bmatrix} = \frac{L}{6EI} \begin{bmatrix} 10 & 5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

b) *Matriz de transformação de solicitações aplicadas em esforços:* relaciona em cada barra os momentos flectores dos nós com as solicitações R_1, R_4 aplicadas. Será:

$$\{S\} = [b]\,\{R\}$$

Neste caso é:

$$\begin{Bmatrix} M_{a3} \\ M_{a1} \\ M_{b1} \\ M_{b2} \\ M_{c2} \\ M_{c1} \end{Bmatrix} = L \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 0 & 1/2 \\ 0 & 1/2 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R_1 \\ R_4 \end{Bmatrix}$$

Sendo:

M_{b2} — momento flector na extremidade 2 da barra (b)

c) *Matriz de deformabilidade da estrutura*

Será

$$[F] = [b^T]\,[f]\,[b]$$

obtém-se fàcilmente

$$[F] = \frac{L^3}{12EI} \begin{bmatrix} 28 & 30 \\ 30 & 35 \end{bmatrix}$$

Os termos da matriz representam os deslocamentos horizontais dos nós 1 e 4 devidos a forças unitárias horizontais nesses nós. Seja por exemplo

$$R_1 = 5$$
$$R_4 = -4$$

Os deslocamentos horizontais dos nós serão então:

$$\{r\} = [F]\,\{R\} = \frac{L^3}{12EI} \begin{Bmatrix} 20 \\ 10 \end{Bmatrix}$$

6.1.2. — **Estruturas hiperestáticas**

Neste caso não é possível construir directamente a matriz de transformação de solicitações pelo que se procede do seguinte modo:

a) Substituem-se as ligações hiperestáticas pelas solicitações X correspondentes, transformando assim a estrutura em isostática.

b) Determina-se a matriz $[b_0]$ de transformação de solicitações aplicadas em esforços para a estrutura isostática.

c) Determina-se a matriz de relação entre as incógnitas hiperestáticas os esforços $[b_1]$.

d) Calcula-se a matriz [f] de deformabilidade dos elementos da estrutura.

e) Determina-se a matriz

$$D = b_1^T\, f\, b_1$$

f) Calcula-se o valor das incógnitas hiperestáticas correspondentes à aplicação de solicitações aplicadas unitárias, ou seja

$$X = -D^{-1}\, b_1^T\, f\, b_0$$

g) Determina-se a matriz [b] de transformação de solicitações aplicadas em esforços para a estrutura hiperestática:

$$[b] = [b_0] + [b_1 X]$$

h) A matriz de deformabilidade da estrutura será

$$[F] = b^T\, f\, b$$

i) Verifica-se a relação

$$[b_1^T] \,.\, [f] \,.\, [b] = O$$

j) Os esforços na estrutura, $\{S\}$ e os deslocamentos $\{r\}$ devidos a um sistema de solicitações $\{R\}$ serão dados por:

$$\{S\} = [b]\,\{R\}$$

$$\{r\} = [F]\,\{R\}$$

Quer dizer, torna-se necessário efectuar um certo número de operações sobre matrizes ele-

mentares. A única operação que se pode tornar trabalhosa é a inversão da matriz [D], cuja ordem, n, é igual ao grau de hiperestaticidade da estrutura.

6.2 — Método dos deslocamentos

Neste caso, não se põe o problema de considerar estruturas hiperestáticas ou isostáticas, pois as relações matriciais são idênticas para os dois tipos de estrutura.

O trabalho das forças interiores será:

$$W_i = v^T k v = v_T k a r = r_T a_T k a r$$

O trabalho de forças aplicadas será:

$$W_E = r^T R$$

Sendo

$$W_E = W_i$$

vem:

$$r^T a^T k a r = r^T R$$

$$a^T k a r = R$$

designando por

$$[K] = a^T k a$$

vem finalmente

$$[K] \{r\} = \{R\}$$

ou seja, [K] é a matriz que relaciona os deslocamentos dos nós, r, com as solicitações aplicadas, R. É portanto a *matriz rigidez* da estrutura. Obtém-se a partir da matriz [a] de transformação de deslocamentos aplicados em deslocamentos interiores e da matriz [k] de rigidez dos elementos da estrutura.

6.3 — Relação entre o método das forças e o método dos deslocamentos

Os métodos são duais, quer dizer, tudo o que se aplica a um aplica-se ao outro desde que se substituam os conceitos de solicitações aplicadas, esforços, matriz de deformabilidade e matriz de transformação das solicitações respectivamente por deslocamento aplicado (nos nós), deslocamentos interiores (nas barras), matriz de rigidez e matriz de transformação de deslocamentos.

Com a matriz de rigidez e a matriz de deformabilidade são inversas uma da outra, isto é

$$[F] = [K]^{-1}$$

é possível passar de um para outro método. Assim no caso de estruturas hiperestáticas, pode desenvolver-se o método dos deslocamentos e a partir dele determinar a matriz de transformação de solicitações, [b], cuja formação directa, para este tipo de estruturas é trabalhosa, como se viu em 6.1.2. De facto será, pelo método dos deslocamentos:

$$K = a^T k a$$

$$S = k v$$

mas, sendo:

$$v = a r = a F R$$

vem:

$$S = k a F R = b R$$

ou seja:

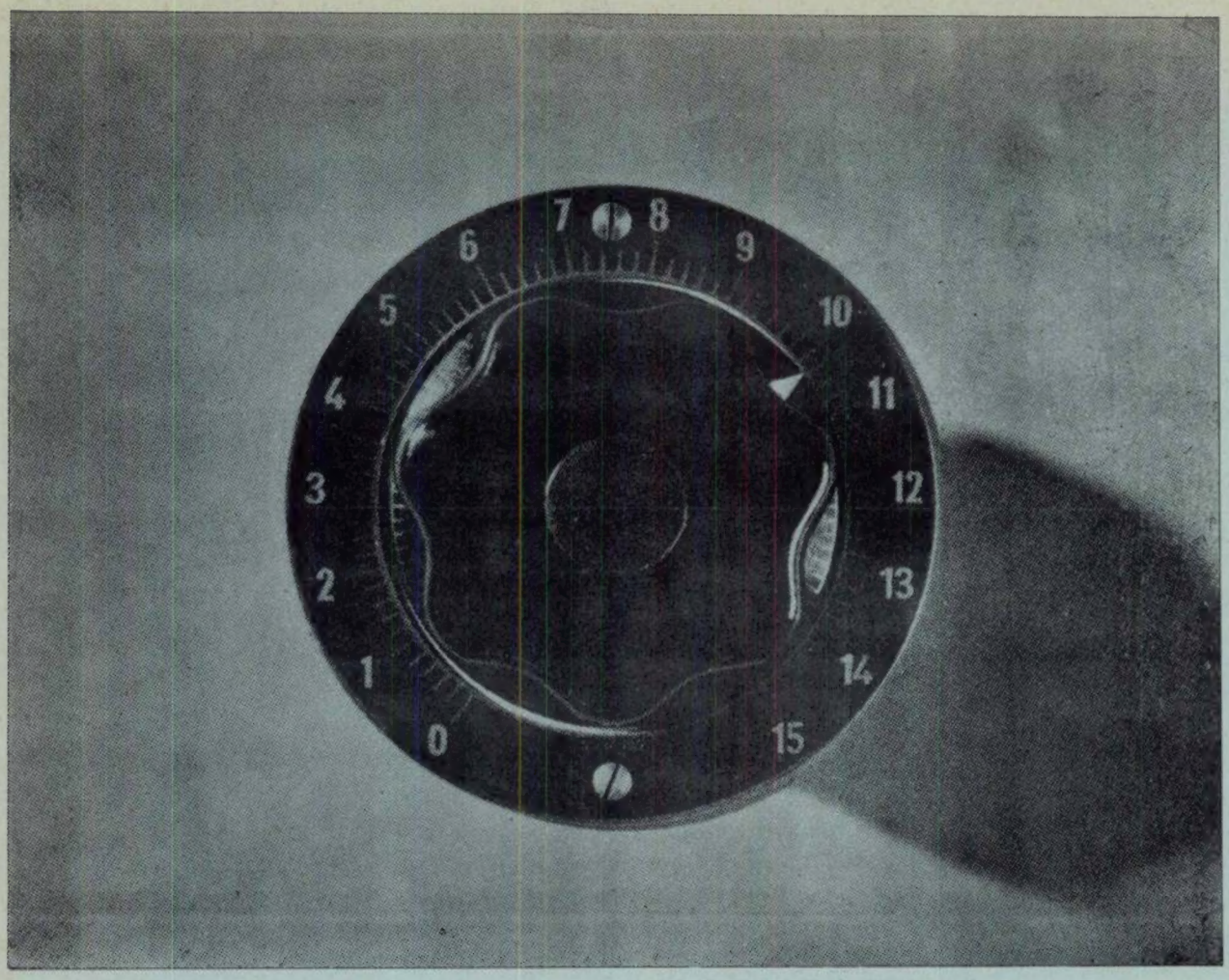
$$b = k a F = k a K^{-1}$$

visto ser

$$F = K^{-1}$$

Quer dizer, é possível obter a matriz de transformação de solicitações a partir da matriz de rigidez da estrutura, [K], da matriz de rigidez dos elementos estruturais, [k] e da matriz de transformação dos deslocamentos, [a].

(Continua)



Com este botão dominará num instante débitos de 0 a 1.500 ton/h

A possibilidade de variar os débitos
de uma forma contínua,
faz dos vibradores da AEG,
elementos de alta importância
na técnica de produção.
Mediante a simples regulação
da tensão de comando,
a amplitude de vibração
– e com ela o débito –
é correctamente adaptada
às necessidades de serviço.
Devido a um simples princípio
electromagnético,
os vibradores AEG
são especialmente apropriados
para trabalhos de regulação.
Por exemplo:
alimentação de balanças.
De 90 a 95% do peso desejado,
os débitos são automàticamente
reduzidos, alcançando assim,
com precisão, o peso desejado
sem excesso de produto.

Devido à grande variedade
de aparelhos,
pode-se combinar instalações
de vibradores AEG
para todos os programas de trabalho
Há instalações em tipo de calha,
em espiral,
tubulares,
de peneiras etc...
Execuções especiais:
não atacáveis
por produtos químicos,
resistentes ao calor.
A técnica
de vibração da AEG progride,
baseada na experiência
da nossa empresa
em todos os sectores industriais

Exponha-nos o seu problema,
pois que teremos muito gosto
em colaborar na sua solução.

AEG

LUSITANA DE ELECTRICIDADE
LISBOA **PORTO**

dist. Belarte
TECNICA XXI